



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА»



ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Всероссийская научно-практическая конференция,  
посвященная 86-летию со дня рождения профессора  
**Анатолия Михайловича Лопатина**  
**(1939-2007)**  
«Инженерные решения для АПК»



14 ноября 2025 года  
г. Рязань

УДК: 631.3:631.171

ББК: 40.7

И – 622

Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 86-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007) «Инженерные решения для АПК», 14 ноября 2025 года. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2025. – 224 с.

#### Редакционная коллегия:

**Правдина Е.Н.** – к.с.-х.н., доцент, врио ректора, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Лукьянова О.В.** – к.с.-х.н., доцент, и.о. проректора по научной работе, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Бачурин А.Н.** – к.т.н., доцент, декан инженерного факультета, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Аникин Н.В.** – к.т.н., доцент, декан автомобильного факультета, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Борычев С.Н.** – д.т.н., профессор, первый проректор, заведующий кафедрой строительства инженерных сооружений и механики, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Каширин Д.Е.** – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой электроснабжения, энергетики и автоматизации в АПК, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Рембалович Г.К.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Успенский И.А.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Терентьев В.В.** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Юхин И.А.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Ульянов В.М.** – д.т.н., профессор, профессор кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Липатова М.А.** – к.т.н., заместитель декана инженерного факультета по научной и инновационной работе, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Голиков А.А.** – д.т.н., заместитель декана автомобильного факультета по научной и инновационной работе, профессор кафедры автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Безносюк Р.В.** – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Олейник Д.О.** – к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО РГАТУ, генеральный директор МИП ООО «Агронасс»;  
**Колошеин Д.В.** – к.т.н., доцент кафедры строительства инженерных сооружений и механики, ответственный за научно-исследовательскую работу студентов на автомобильном факультете, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Князькова О.И.** – начальник информационно-аналитического отдела, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Корнюшин В.М.** – инженер-магистр, начальник студенческого конструкторского бюро, ФГБОУ ВО РГАТУ;  
**Богданчиков И.Ю.** – к.т.н., доцент, научный сотрудник института аграрных исследований НИУ ВШЭ;  
**Кутейникова А.П.** – магистр, представитель СМУиС Рязанской области;  
**Кузякина М.С.** – основатель молодежного научного клуба «Механизм» им. Ж. И. Алфёрова, г. Смоленск.

В сборник вошли материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 86-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007) «Инженерные решения для АПК» 14 ноября 2025 года.

Рецензируемое научное издание.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

## **Лопатин Анатолий Михайлович (1939 – 2007)**

Выпускник факультета механизации сельского хозяйства Рязанского сельскохозяйственного института имени профессора П.А. Костычева, ныне Рязанского государственного агротехнологического университета, заслуженный работник сельского хозяйства РФ, автор 80 научных работ, в числе которых монография, три учебных пособия и пять изобретений.

Продолжатель молодежного движения «Студенческие механизированные отряды». Свой опыт работы, полученный при освоении целинных и залежных земель в составе механизированного отряда, использовал при организации и руководстве студенческими механизированными отрядами вуза.

Награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» II степени, медалью «За труды по сельскому хозяйству» и другими. Двадцать три года Анатолий Михайлович Лопатин, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, был деканом факультета механизации сельского хозяйства (1978 – 2001 гг.).

Любил жизнь, здоровый образ жизни и очень любил молодежь. Его любимый вид спорта – тяжелая атлетика. Анатолий Михайлович всегда делал так, чтобы каждый студент чувствовал себя полноценной личностью, настоящим гражданином общества и старался привить активную жизненную позицию нашей молодежи.



**Анатолий Михайлович Лопатин проводит лабораторные занятия со студентами**

## Содержание

<b>Секция 1. Пути совершенствования конструкций сельскохозяйственной и транспортной техники</b> .....	6
<i>Исмаев Р.Р., Рембалович Г.К., Юмаев Д.М.</i> Анализ рабочих органов почвообрабатывающих машин для шлейфования .....	6
<i>Каширин Д.Е., Тиманькова А.М., Тиманьков Е.А., Бычков А.В., Роженцева Е.А.</i> Диагностика состояния электрооборудования агропромышленных предприятий .	10
<i>Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Рембалович Г.К., Антипов А.О.</i> Анализ технических решений по обеспечению движения тележек широкозахватных дождевальнх машин.....	15
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Особенности автоматического повторного включения с контролем синхронизма	21
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Построение расчетной модели высокочастотного инвертора питания машины контактной сварки .....	27
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Реализация защиты ротора от замыкания на землю при работе генератора с несколькими системами возбуждения.....	34
<b>Секция 2. Актуальные вопросы инженерно-технического обеспечения предприятий АПК</b> .....	41
<i>Акулинин А.Д., Юмаев Д.М.</i> Рынок современных самоходных отечественных опрыскивателей.....	41
<i>Балданов М.Б., Шуханов С.Н.</i> Корреляция механических повреждений при обработке зернометателем с прочностными свойствами зерновых материалов .....	45
<i>Баранов В.А., Фатьянов С.О., Морозов А.С., Тетерин В.С.</i> Применение инфракрасного излучения для предпосевной обработки семян .....	49
<i>Говоров И.В., Старунский А.В.</i> Методики испытания и оценки ресурса металлопокрытий на усталостную контактную прочность при многократном восстановлении деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники .....	55
<i>Зенин Н.А., Мишина Т.О.</i> Пушка Фролова .....	60
<i>Каширин Д.Е., Елисеев И.О., Бычков А.В., Лисина Н.А., Роженцева Е.А.</i> Обоснование рациональных режимов сушки продуктов сельского хозяйства.....	65
<i>Кленов Д.В., Нагаев Н.Б., Лузгин Н.Е., Макаров Г.Н., Паршин И. А.</i> Современные биотехнологические и электрофизические методы получения высококачественного посадочного материала картофеля.....	69
<i>Конев А.Ю., Хольшев Н.В.</i> Моделирование процесса обтекания стержней лоткового смесителя в модуле FLOW SIMULATION SOLIDWORKS.....	76
<i>Максименко О. О., Семина Е. С., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Проектирование интегрированных микрогидроэлектростанций для обеспечения энергетической автономности малых поселений: комплексный подход .....	81
<i>Моер А.А., Божиков Д.Ю., Олейник Д.О.</i> Исследование свойств почвы и урожайности культур при использовании минимальной и нулевой обработки почвы.....	90
<i>Нагаев Н.Б., Кленов Д.В., Макаров Г.Н., Паршин И. А.</i> Анализ устройств для регистрации биоэлектрической активности семян картофеля.....	95

<i>Нагаев Н.Б., Лузгин Н.Е., Хотько А.А., Макаров Г.Н., Бурова К.Д.</i> Технологические аспекты применения ультрафиолетового излучения при предпосевной подготовке семенного материала .....	103
<i>Нагаев Н.Б., Хотько А.А., Макаров Г.Н., Бурова К.Д.</i> Развитие и интеграция ультрафиолетовых систем облучения в современные технологии предпосевной обработки семян.....	112
<i>Панков П.Д., Морозов А.С., Фатьянов С.О., Тетерин В.С.</i> Определение параметров среды обитания долгоносика.....	122
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Латышенок А.А., Привалов М.А.</i> Роботизация и автономная техника в АПК.....	128
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Влияние гидроэнергетики на экосистемы водоемов.....	134
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Оптимизация энергозатрат в агропромышленном комплексе .....	143
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Организация резервного электроснабжения подстанции сельского поселения в условиях лимитированной мощности.....	151
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Стратегическая энергобезопасность: роль энергосбережения и эффективности ..	158
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Точный метод частотного контроля в устройствах АПВУС .....	166
<i>Стрелков И.И., Козеева Д.А., Кострюков С.С., Кунцевич А.А., Лузгин Н.Е.</i> Система обработки почвы STRIP-TILL.....	174
<b>Секция 3. Техническая эксплуатация транспорта и сельскохозяйственной техники.....</b>	<b>179</b>
<i>Алтухов С.В., Шуханов С.Н., Голубев Д.Н.</i> Оптимальное значение температуры распылителей форсунок дизеля как фактор повышения эффективности его функционирования .....	179
<i>Максименко О. О., Семина Е. С., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Перспективы биологического топлива для транспорта будущего .....	185
<i>Панков П.Д., Морозов А.С.</i> Методы продления ресурса двигателей и трансмиссий сельхозмашин .....	193
<b>Секция 4. Вопросы внедрения цифровых технологий в АПК.....</b>	<b>198</b>
<i>Корнилов И. А., Мишина Т.О.</i> Интеллектуальные системы в агропромышленности: стратегии, технологии и будущее .....	198
<i>Семина Е. С., Максименко О. О., Слободскова А.А., Чванов З. И., Денисов А. И.</i> Препятствия для внедрения цифровых технологий в энергетической отрасли.....	202
<i>Христолюбов П.В., Пилип Л. В.</i> Использование искусственного интеллекта для мониторинга запахового загрязнения воздуха.....	211
<i>Юрченко К.А., Юрченко Е.Н.</i> Интеграция сенсорных технологий и больших данных для управления пастбищами и рационом животных .....	214
<i>Юрченко К.А., Юрченко Е.Н.</i> Цифровые технологии для контроля качества продукции агропромышленного комплекса Омской области .....	219

## Секция 1. Пути совершенствования конструкций сельскохозяйственной и транспортной техники

УДК 631.311

*Исмаев Р.Р., аспирант,  
Рембалович Г.К., д.т.н., профессор,  
Юмаев Д.М., к.т.н.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

### АНАЛИЗ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ДЛЯ ШЛЕЙФОВАНИЯ

Шлейфование применяют для выравнивания поверхности чрезмерно рыхлых почв. Этот приём позволяет сократить испарение влаги и обеспечить качественную заделку семян. Операцию выполняют либо до боронования, либо одновременно с ним (рисунок 1).

Основными целями шлейфования являются обеспечение мелкокомковатой и рыхлой структуры почвы, поддержание необходимого уровня влаги, подавление сорняков, создание условий для равномерного прорастания семян и упрощение сбора урожая.



Рисунок 1 – Шлейфование

Агротехнические требования к процессу шлейфования следующие:

- соблюдение технологии возделывания определенной сельскохозяйственной культуры;
- соблюдение глубины почвенной проработки;
- прямолинейное движение при обработке, не допускаются отклонения направления;
- все огрехи и глыбы во время обработки недопустимы;
- должна наблюдаться равномерность обработки на всем рабочем участке;
- проводят весной при подготовке поля к посеву после просыхания верхушек гребней, образованных при осенней вспашке;
- показатель гребнистости 2–4 см, угол наклона агрегата 45–50° к направлению вспашки, скорость 3,5–5 км/ч.

До работ необходимо предварительно установить все требуемые параметры мероприятия на основе факторов, которые связаны с культурой и местностью. После окончания работ пашня проверяется на соответствие всем нормам. Для шлейфования могут применяться различные техсредства (рис. 2). Среди них:

- волокуши (а);
- волокуши - шлейфы (б);
- волокуши - гвоздѣвки (в);

Конструкция волокуши представляет из себя несколько скреплѣнных цепями деревянных брусѣв на расстоянии 30 – 40 см. Волокуша с зубьями на переднем брусѣ называется гвоздѣвкой, с зубьями на втором и третьем – шлейфы. Чаще всего шлейфование проводят на качественно обработанных структурных почвах, перед посевом мелкосемянных культур – льна, сахарной свеклы и др.

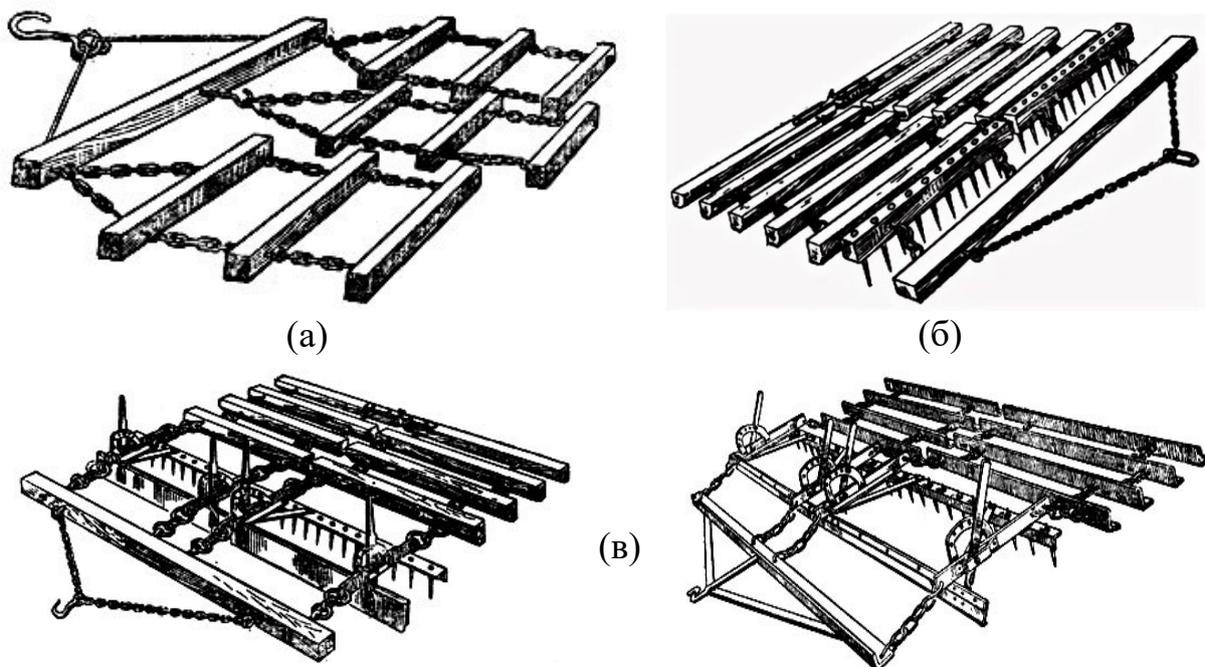


Рисунок 2 – Устройства для шлейфования

Конструкция стандартной волокуши (рис. 2 а) представляет собой основание с закреплѣнными к нему цепями 3-х звеньев. Каждое такое звено имеет по 3 параллельных поперечных деревянных брусѣв, размером приблизительно  $6 \times 8 \times 100$  см. Брусѣв в звеньях соединены между собой цепями, прутьями или тросами на расстоянии около 30 см друг от друга.

Волокуша-гвоздѣвка (рис. 2 б) состоит из двух звеньев, образованных из деревянных параллельных брусѣв размером  $6 \times 10 \times 125$  см. Брусѣв между собой соединены цепями, как и в обычной волокуше. Ширина захвата 2,5 м.

Передний брусѣв каждого звена снабжѣн 12 короткими зубьями, расположенными однорядно через каждые 10 см.

Задние бруски соединены между собой шарнирным способом. С целью уменьшения износа, основания всех брусков, кроме первого, обшиваются полосовым железом. Волокуша-гвоздѣвка, по В. Р. Вильямсу, применяется на недостаточно культурных почвах. На рыхлых почвах, помимо брусковых волокуш, применяют также волокуши из железных колец для сглаживания мелких гребней, образующихся после посева.

Иначе устроена волокуша-струг, представляющая собой доску длиной 3,5 м, поставленную на ребро и окованную снизу железом, с приспособлением для изменения угла наклона доски к поверхности поля. Это орудие также находит применение при выравнивании почвы.

Волокуша-шлейф, деревянная или металлическая (рис. 2 в), состоит из поперечных брусков, полосы, поставленной на ребро, и гребѣнки.

Угол наклона полосы к поверхности поля изменяется управляющими рычагами. Ширина захвата двух звеньев 2,5 м. Вес деревянной волокуши. - шлейфа 90 кг, металлической - 100 кг. Бруски, полосы и гребѣнки соединены между собой с помощью болтов с ушком, колец и крюков, позволяющих по мере надобности уменьшать количество брусков или изменять порядок расположения полосы и гребѣнки, т. е. устанавливать впереди полосу, а за ней гребѣнку или наоборот. Для работы с трактором три двухзвенных волокуши-шлейфа соединяются в один агрегат. Данный тип применяется на малоструктурных почвах, когда работа обычной волокуши для выравнивания почвы и разрыхления крупных комьев-глыб оказывается недостаточной.

Лучшее выравнивание поверхности пашни достигается при движении волокуши под углом 45° к направлению гребней. Волокуши могут агрегатироваться с тракторами: прицепные волокуши для сбора соломы льна гидрофицированы и работают в сцепке с тракторами тягового класса 1,4–2 (МТЗ 80/82, МТЗ 892, МТЗ 1221).

При выборе способов выравнивания почвы, важным составляющим является выбор рабочих элементов рассматриваемого агрегата. Кроме того, рациональная эксплуатация, как всей почвообрабатывающей машины, так и её рабочих органов, позволяет получать высокие показатели урожайности и позволяет систематически улучшать качество земель, сохраняя их для дальнейшего использования [2,3,4].

### ***Библиографический список***

1. Ковда, В.А. Основы учения о почве / В.А. Ковда. - М. : Наука. Книга 1, 1973. - 447 с.
2. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины – 5-е изд. перераб. и доп. / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – М.: Колос, 1983. – 495 с., ил. (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).
3. Степанов, А. Н. Организация и функционирование крестьянских (фермерских) хозяйств. Обработка почвы и почвообрабатывающие машины: отечественный и зарубежный опыт : учебное пособие / А. Н. Степанов. — Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2023. — 94 с // Лань : электронно-библиотечная

система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/340115> (дата обращения: 25.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Почвоведение в 2 ч. Ч.1. Почва и почвообразование / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. — М.: Высшая школа, 1988. - 368 с.

5. Нерсисян В. И. Подготовка тракторов и сельскохозяйственных машин и механизмов к работе : учебник для студ. учреждений сред, проф. образования / В. И. Нерсисян. — М. : Издательский центр «Академия», 2018. — 224 с.

6. Ларюшин, Н. П. Сельскохозяйственные машины. : учебное пособие : в 2 частях / Н. П. Ларюшин, Р. Р. Девликамов. — Пенза : ПГАУ, [б. г.]. — Часть 1 : Почвообрабатывающие машины. Машины для внесения удобрений. Посевные машины и комплексы. Машины по уходу и защите растений. — 2023. — 361 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/412157> (дата обращения: 24.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Дорофеев, В. Н. Сельскохозяйственные машины. Почвообрабатывающие, посевные и посадочные машины и орудия : учебное пособие / В. Н. Дорофеев, В. М. Перевалов. — 2-е изд., доп. и перераб. — Иркутск : Иркутский ГАУ, 2011. — 142 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133364> (дата обращения: 23.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.;

8. Гуляев, В. П. Сельскохозяйственные машины : учебное пособие / В. П. Гуляев, Т. Ф. Гаврильева. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 140 с.

9. Анализ современных машин для выравнивания микрорельефа поля / Д. М. Юмаев, И. И. Чернов, А. Д. Акулин, А. Р. Стариков // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 24-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 октября 2024 года. — Рязань: РГАТУ, 2024. — С. 26-33.

10. Юмаев, Д. М. Анализ современных машин для выравнивания микрорельефа и планировки поверхности поля / Д. М. Юмаев, М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности: материалы 75-й юбилейной международной научно-практич. конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года. — Рязань: Рязанский РГАТУ, 2024. — С. 308-316.

Каширин Д.Е., д.т.н., профессор,  
 Тиманькова А.М.,  
 Тиманьков Е.А.,  
 Бычков А.В.,  
 Рожнецова Е.А.  
 ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для того чтобы определить сопротивление изоляции используют мегомметр. Полученные значения соотносят с установленными стандартами или с замерами, полученные ранее. На сопротивление изоляции сильное влияние оказывает температура, поэтому необходимо полученные результаты привести к необходимой стандартной температуре, как правило, 20 °С.

Изменение сопротивления изоляции обусловлено продолжительным приложением напряжения [1, с. 197]. Для того, чтобы минимизировать влияние токов абсорбции, которые вызваны зарядкой емкости  $C_d$  через сопротивление  $r$ , установление итогов измерений определяется через 1 минуту после пуска напряжения. В данный момент происходит постепенная стабилизация уровня изоляции к конечному значению, которое равнозначно сопротивлению прямого прохождения тока  $R$ . Значительное уменьшение  $R$  выступает в качестве индикатора усиленного загрязнения изоляционного материала (определяемого по размерам в объеме или на поверхности) или наличие сквозного точечного повреждения или близкого к сквозному [2, с. 106].

Суммарный ток, который можно замерить после приложения постоянного напряжения к изоляции, будет складываться из тока прямой проводимости и тока абсорбции:

$$i = i_{ск} + i_{абс} = \frac{U}{R} + \frac{U}{r} e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

Где:  $\tau = r C_d$ .

Если изоляция мокрая или грязная, то  $i_{ск} = U/R$  будет увеличиваться, и разница между токами в начале и в конце процесса будет незаметна.

Соответственно, качество изоляции можно оценить по отношению токов (или сопротивлений), которые измерены через 15 и 60 секунд после приложения напряжения к изоляции [3, с. 101].

Критерий  $R_{60}/R_{15}$  является хорошим показателем степени увлажнения изоляции при температурах до 35-40 °С. С ростом температуры ток  $i_{ск}$  сильно возрастает и отношение  $R_{60}/R_{15}$  приближается к единице [4, с. 195].

Частичные разряды (ЧР) это микропробой, которые являются многочисленными и локализованными в области где электрическая надежность изоляции снижена. Они появляются в неисправных участках, таких как поры, расслоения, или вблизи геометрических неоднородностей (острых краев

электродов). Размеры ЧР изменяются в диапазоне от долей миллиметра до нескольких миллиметров [5, с. 136].

Основные количественные характеристики частичных разрядов:

Частота повторения импульсов — число частичных разрядов импульсов, которые излучаются в течение интервала равному секунде;

Фаза импульса частичного разряда ( $i$ ) вычисляется по формуле:  $i=360 (t_i / T)$  и выражается в градусах, где  $t_i$ —это время, которое измеряется между предыдущим положительным направлением испытательного напряжения через нулевую отметку и импульсом ЧР [6, с. 97].  $T$ —обозначение периода испытательного напряжения.

Средний ток частичных разрядов вычисляется отношением интеграла модуля видимого заряда к длительности интервала наблюдения. Иначе говоря, это среднее значение абсолютной величины всех измеренных кажущихся зарядов. Эта величина измеряется в кулонах в секунду (Кл/с) или амперах (А) [7, с. 88].

Средняя мощность частичных разрядов представляет собой производную характеристику, которая показывает среднюю энергию, которая поступает в устройство и передается к объекту испытаний из-за появления частичных разрядов. Этот показатель измеряется путем вычисления среднего значения мощности отдельных импульсов, которые соответствуют зарегистрированным показателям кажущегося заряда, за определенный промежуток времени [8, с. 142].

Быстрый рост нарастания переднего фронта импульса. Электромагнитное излучение, которое возникает при создании этих импульсов, охватывает большой спектральный диапазон, что дает возможность их регистрации вплоть до частот в гигагерцовом диапазоне [9, с. 201].

Частичные разряды характеризуются многообразными физическими, электрическими и химическими явлениями. К деградации изоляции приводит именно химическое изменение в ней. К тому же, частичные разряды создают звуковые волны.

Данные разряды также создают излучение, которое обнаруживается в рентгеновском, оптическом и ультрафиолетовом диапазонах, а иногда и в видимом спектре. Благодаря этому можно использовать разнообразные датчики, которые основываются на этих принципах.

Химические реакции при ЧР. Возникновение частичных разрядов (ЧР) в масляной изоляции приводит к химическому преобразованию масла. В заключении этого процесса образуется водород и углерод, оседающий на поверхности изоляции. Водород растворимый в масле, может быть количественно определен при помощи хроматографического анализа. Именно изменение концентрации водорода в масле и осуществляется диагностика дефектов. Подобный процесс наблюдается и в элегазовой изоляции: ЧР инициируют разложение элегаза с образованием SF<sub>4</sub>. Дальнейший распад SF<sub>4</sub> приводит к появлению SOF<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>. способом выявления частичных разрядов наиболее эффективным является нахождение концентрации этих веществ в элегазе [10, с. 681].

Следующие явления, которые возникают при пробое включения, вызывают разрушающее действие ЧР на диэлектрики:

- 1 - влияние ударных волн;
- 2- тепловое воздействие;
- 3 - бомбардировка заряженными частицами;
- 4 - воздействие химически активными продуктами разряда(озон, окислы азота);
- 5 - воздействие излучения;
- 6 - развитие древовидных побегов-дендритов.

Существуют следующие методы диагностики ЧР:

- электрический;
- электромагнитный, или дистанционный, СВЧ - метод;
- акустический;
- химический;
- оптический, или оптоэлектронный;
- термический.

Указанные способы позволяют проводить диагностику кабельных сетей, генераторов, электромоторов и трансформаторов, охватывая, практически все элементы электрической системы.

Метод измерения электромагнитных волн. Индикаторы радиоизлучений (ИРИ), часто которые называют дефектоскопами, это устройство для диагностирование электромагнитных волн, которые возникают при частичных разрядах (ЧР).

Суть способа выстроена на приеме радиосигналов, которые исходят при ЧР в изоляции. Главное использование ИРИ – это диагностика бракованных изоляторов на линиях электропередачи. Несовершенствами данного способа являются: нехорошая помехоустойчивость (помехи формируются короной проводов и др.), дефицит численной оценки.

Методы регистрации высокочастотных составляющих частичных разрядов. Индикаторы частичных разрядов (ИЧР)– это приспособления для нахождения и вычисления частотных сигналов, появляющийся при частичных разрядах. Они могут перехватывать даже самые слабенькие разряды и доставляют информацию об энергии, которая выдается отдельным разрядом. ИЧР подключаются прямо к цепи, где случаются разряды, и включают в себя приемочный контур, усилитель и измерительное устройство. Принцип их работы устроен на измерении воображающего заряда:

$$\Delta Q_0 = \Delta U \cdot C_0, \quad (2)$$

где:  $C_0$  - емкость изоляции.

Если происходят отрывочные разряды (ЧР), появляются быстрый перепад напряжения (с амплитудой  $\Delta U$ ). Индикатор частичных разрядов (ИЧР) соединен с исследуемым предметом чрез разделительный конденсатор ( $C_{\text{разд}}$ ). этот конденсатор не дает передвигаться токам главной частоты, но пропускает сигналы ЧР. Хаотичные колебания напряжения, возбужденные ЧР в предмете ( $C_x$ ), вынуждают ИЧР создавать постоянные колебания с частотой, которая равна резонансной частоте контура:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (3)$$

Обычно для настройки частоты ИЧР выбирается значение порядка нескольких десятков килогерц, Амплитуда высокочастотных колебаний  $\Delta U$  измеряется гальванометром Г. По значению  $\Delta U$  можно рассчитать кажущуюся интенсивность ионизации.

Для того чтобы заметить частичные разряды (ЧР) нужно использовать метод бесконтактного СВЧ, который устроен на том, чтобы употреблять антенное направленное приемное устройства. Данный способ не будет требовать физическое взаимодействие с исследуемым предметом и универсален в применении, потому не зависит от класса напряжения.

Для измерения используются специализированные антенны, которые работают в спектре частот от 200 МГц до 1,5 ГГц.

Недостатком метода является наличие большого количества помех, затрудняющих расшифровку полученных результатов (источник помех — корона на проводах, искрение коллекторов электрических машин ит. д.);

Часть энергии, высвобождающейся при разряде, трансформируется в механическую форму, порождая в окружающей среде кратковременное повышение давления – ударную волну. Эта волна, распространяясь со скоростью звука в данной среде, может быть фиксирована датчиками, размещенными на расстоянии от источника разряда. Именно на данном принципе базируются звуковые способы контроля, которые находят обширное использование в различных областях.

При регистрации частичных разрядов (ЧР) в силовых трансформаторах применяются контактные датчики, устанавливаемые на поверхность бака в зонах, предположительно подверженных возникновению ЧР. Для обеспечения надежного акустического контакта поверхность бака предварительно очищается, а датчики фиксируются прижимными устройствами, поддерживающими постоянное усилие. Измерительные элементы датчиков основаны на пьезоэлектрическом или акустооптическом эффекте. Минимальное количество одновременно используемых датчиков составляет три.

Направленные акустические датчики обеспечивают безопасную проверку оборудования и кабелей на расстоянии. Они подходят для систем непрерывного мониторинга. Несмотря на ограничения по дальности и чувствительность к шуму, эти устройства эффективно контролируют, например, высоковольтные линии электропередачи в течение продолжительного времени.

### ***Библиографический список***

1. Исследование производительности процесса вибрационной очистки пчелиных сотов / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 9(174). – С. 192-199.

2. Каширин, Д. Е. Феноменологическая модель диссипации колебаний в системе с нелинейными потерями энергии / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, Я. М. Глухих // Научно-инновационные аспекты аграрного производства:

перспективы развития : Материалы II Национальной науч.-практ. конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова, Рязань, 24 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 105-108.

3. Обоснование рациональных конструктивно-технологических параметров измельчителя воскового сырья / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, М. Н. Чаткин, И. И. Гришин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4. – С. 96-103.

4. Теоретическое исследование процесса очистки воскового сырья от загрязнений при интенсивном механическом перемешивании в воде / Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 94-99.

5. Каширин, Д. Е. Совершенствование методики электротехнических измерений в условиях агропромышленных предприятий / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 133-138.

6. Каширин, Д. Е. Методика исследования гармонических искажений напряжения на шинах трансформаторной подстанции / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, Я. М. Глухих // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ Совет молодых учёных и специалистов Рязанской области. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 95-101.

7. К вопросу обоснования рациональных условий очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 87-91.

8. Каширин, Д. Е. Обоснование параметров электронагревательной установки для пчелиных ульев / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, К. Е. Гобелев // Вестник СМУ Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 1(10). – С. 139-144.

9. Исследование причин повреждаемости объектов энергосистемы Рязанской области / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ Совет молодых учёных и специалистов Рязанской области. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 198-202.

10. Современные тенденции в диагностировании технологических процессов изготовления полупроводниковых материалов и структур с глубокими уровнями / В. В. Павлов, Д. Е. Каширин, А. В. Шемякин, С. Н. Борычев // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : материалы XXII Международной науч.-практ. конф., 06–07 декабря 2023 года. – Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2023. – С. 678-682.

*Рязанцев А.И., д.т.н., профессор,  
Евсеев Е.Ю., к.т.н.,  
Рембалович Г.К., д.т.н., профессор  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ  
Антипов А.О., к.т.н., доцент  
ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г.о. Коломна, РФ*

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖЕК ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН**

При создании дождевальных машин для обеспечения эффективного функционирования их ходовых частей инженеры использовали различные механизмы, приводимые в действие энергией воды – так называемые гидроприводы, а также электроприводы.

Далее будут описаны ключевые и наиболее распространенные конструкции таких систем, а также специфика их использования на дождевальных машинах «Фрегат» и «Кубань-ЛК1», которые осуществляют полив в движении по кругу.

Дождевальная машина «Фрегат» предназначена для орошения сельскохозяйственных угодий, включая поля, луга и пастбища. На каждой тележке ДМ установлен гидропривод, обеспечивающей, с помощью системы автоматической синхронизации, движение машины по кругу (рисунок 1). Гидропривод, устанавливаемый на ДМ, работает следующим образом. Оросительная вода, из центрального трубопровода, через дроссельный клапан и перепускной клапан по пустотелому штоку, поступает в гидроцилиндр. При этом давление на входе составляет 0,5...0,6 МПа. Поворот двухплечевого рычага осуществляется при подъеме гидроцилиндра, который, посредством шарнира, связан с толкающими тягами. Двухплечевой рычаг, двигаясь до упора в выступ вертикальной тяги, перемещает опору. При этом поднимается тяга и освобождается зацеп с перепускным клапаном. Далее клапан опускается под действием пружинного механизма вниз, перекрывая поток воды в гидроцилиндре [3, 5].

Использовавшаяся конструкция гидропривода обладала рядом существенных недостатков. Ей был присущ невысокий коэффициент полезного действия, сопровождавшийся повышенным расходом мощности и значительной материалоемкостью. Кроме того, система характеризовалась большим объемом воды, сливаемой из гидроцилиндров, и обеспечивала недостаточно равномерное распределение влаги при поливе.

Последующее усовершенствование гидравлической системы дождевальной машины привело к разработке модификации «Фрегат-П» (рисунок 2), предназначенной для кругового движения. Ходовые системы этой модели были оборудованы усовершенствованным гидроприводом, в котором использовались два гидроцилиндра.



Рисунок 1 – Гидропривод  
дождевальной машины «Фрегат»

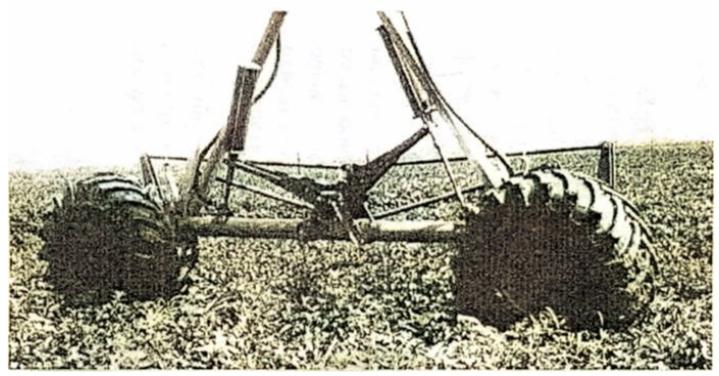


Рисунок 2 – Гидропривод дождевальной  
машины «Фрегат-П»

Для оснащения широкозахватных и иных типов оросительной техники была создана конструкция сифонного гидропривода (рисунки 3, 4), призванная преодолеть ограничения систем, использующих энергию воды.

Данное решение позволило устранить характерные для поршневых механизмов недостатки. Однако, несмотря на свои преимущества, сифонный привод не получил массового распространения в связи с активным переходом отрасли на электрифицированные дождевальные машины.

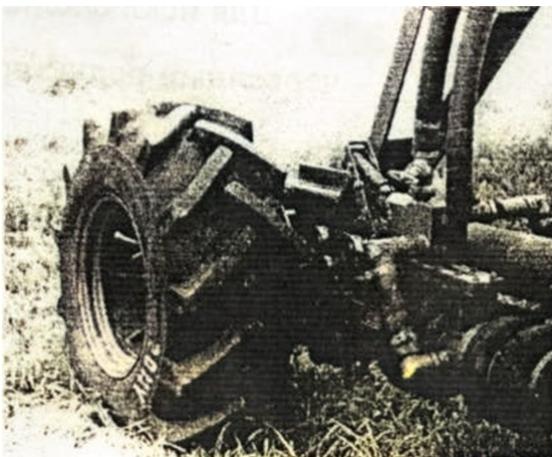


Рисунок 3 – Сифонный  
гидропривод тележки  
широкозахватной дождевальной  
машин

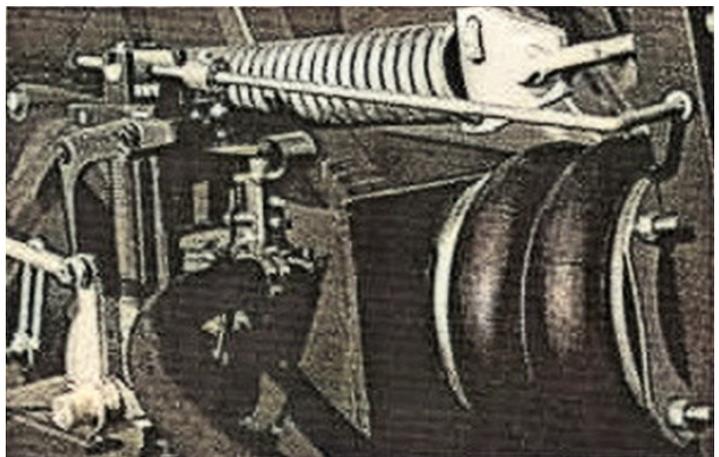


Рисунок 4 – Сифонный гидропривод  
шланго-барабанного дождевателя

На раннем этапе создания и применения электрифицированных дождевальных машин кругового действия в их ходовой части использовался центральный червячный мотор-редуктор. Выходные валы данного агрегата соединялись цепной передачей с валами колесных редукторов, которые также были выполнены по червячной схеме и монтировались непосредственно на ведущих колесах (рисунок 5) [1, 4].

В последствии, цепные передачи, из-за высокого шума и вибрации, высокого износа звеньев цепи, постоянной необходимости смазывания, а также постепенного удлинения, были заменены на передачи карданного типа (рисунок 6).

В настоящее время, указанная модель привода, устанавливается на серийно выпускаемые модели дождевальной машины «Кубань-ЛК1». Как отмечалось ранее, применение энергозатратных червячных передач в приводе, и наличие в нем заблокированных связей, вызывает излишнее потребление энергии [2, 6].

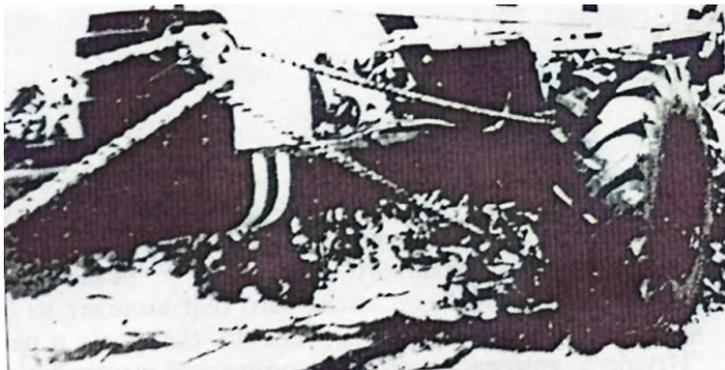


Рисунок 5 – Электропривод тележки дождевальной машины с цепным приводом



Рисунок 6 – Электропривод тележки дождевальной машины с карданами

Ряд иностранных фирм таких как Valley, RKD, Zimmatic, Reinke, Urapivot, Otech, T-L, Bauer оснащают центральные мотор-редуктора вместо червячной передачи (рисунок 7) цилиндрической передачей (рисунок 8). Такое решение повышает коэффициент полезного действия всего привода тележки на 40 % до 0,8 – 0,9. Такая компоновка привода тележки дождевальной машины наиболее распространена и применяется на большинстве дождевальных машин, выпускаемых мировыми компаниями.

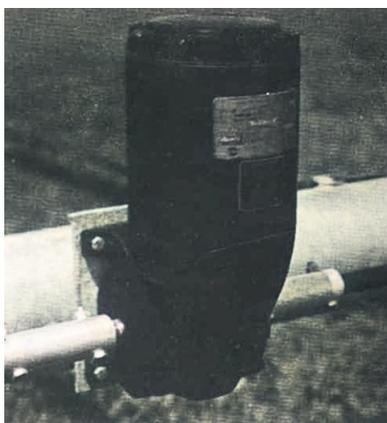


Рисунок 7 – Центральный мотор-редуктор ДМ с передачей червячного типа



Рисунок 8 – Центральный мотор-редуктор ДМ с передачей цилиндрического типа

Иностранные разработчики дождевальной техники предложили оснащать колесные редуктора планетарными механизмами (рисунок 10), из-за возникновения паразитных мощностей в червячных приводах (рисунок 9). При этом К.П.Д. возрастает до 0,8 и более.



Рисунок 9 – Колесный редуктор тележки ДМ «Кубань-ЛК1» с передачей червячного типа

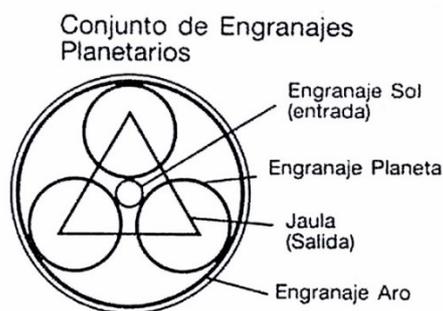
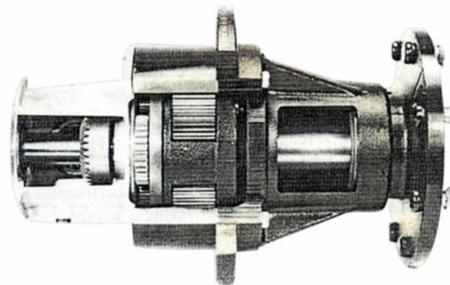


Рисунок 10 – Колесный редуктор тележки ДМ «Кубань-ЛК1» с передачей планетарного типа

Конструкция дифференциального привода предотвращает циркуляцию мощности, однако обладает собственным недостатком. Из-за дифференциального эффекта одно из колес, даже находясь в более выгодных условиях сцепления с грунтом, не реализует свой максимальный потенциал. В тележках дождевальных машин, оснащенных червячным приводом, выравнивание скоростей вращения двух колес происходит лишь в ситуации, когда одно из них начинает буксовать.

По результатам проведенных исследований иностранными и отечественными разработчиками, максимальные тягово-сцепные характеристики обеспечиваются оснащение одного или двух колес тележек ДМ независимыми мотор-редукторами (рисунок 11). Стоит отметить, что установка отдельного мотор-редуктора на одно колесо ходовой системы ДМ (рисунок 12) целесообразно только на почвах с высокими прочностными и сцепными характеристиками.

Для дальнейшего повышения производительности дождевальных машин и достижения высоких показателей коэффициента полезного действия в конструкциях с автономными мотор-редукторами на каждом колесе отечественные инженеры предлагают внедрение перспективного типа зубчатой передачи, известной как волновая [7, 9].



Рисунок 11 – Тележка дождевальной машины с независимым мотор-редуктором

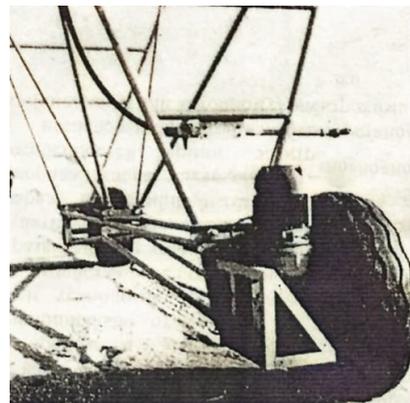


Рисунок 12 – Тележка ДМ с мотор-редуктором на одном колесе

Положительным моментом в использовании указанного типа передачи является применение в конструкции гибких зубчатых колес, обеспечивающих большое одновременное зацепление зубьев передачи, тем самым приобретаются новые свойства. Достоинства волновых редукторов заключаются в большом значении кинематического эффекта, рациональной компоновке привода и малых габаритах, а также ряде других свойств, позволяющих предсказать их широкое применение в ходовых системах дождевальной техники, при этом коэффициент полезного действия возрастает до 0,9 и более [8, 10].

Таким образом, исходя из проведенных поисковых исследований, можно заключить что снижение энергетических затрат на передвижение дождевальной машины возможно обеспечить высокоэффективными приводами, обеспечивающими значения коэффициента полезного действия на уровне 0,9.

### ***Библиографический список***

1. Авторское свидетельство № 1628865 А1 СССР, МПК А01В 13/16, А01G 25/09. Способ повышения проходимости по поверхности орошаемого поля многоопорных дождевальных машин : № 4631057 : заявл. 23.11.1988 : опубл. 23.02.1991 / А. М. Салдаев ; заявитель Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия научно-производственного объединения "Орошение".

2. Евсеев, Е. Ю. Вопросы совершенствования приводов многоопорной дождевальной машины "Кубань-ЛК1" / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев // Инновационные инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 28 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 11-16.

3. Евсеев, Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях / Е. Ю. Евсеев // Нива Поволжья. – 2023. – № 2(66).

4. Егоров, Ю. Н. Выбор технологических и технических средств для повышения проходимости дождевальных машин, работающих в движении / Ю. Н. Егоров ; Ю. Н. Егоров. – Коломна : КИППК Минсельхоза России, 2007. – 155 с.
5. Журавлева, Л. А. Проходимость широкозахватных дождевальных машин кругового действия по увлажненным почвам / Л. А. Журавлева, В. Т. Нгуен // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 115-119.
6. Оценка энергетических показателей усовершенствованного привода многоопорных дождевальных машин, типа «Кубань-ЛК1» / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Наука в центральной России. – 2023. – № 6(66). – С. 62-70.
7. Рязанцев, А. И. Особенности выбора редукторов, для использования в приводах опорных тележек широкозахватной дождевальной машины "Кубань - ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев // Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиорированных землях : Материалы международной научно-практической конференции, Тверь, 30 сентября 2019 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2019. – С. 279-284.
8. Технические решения для повышения проходимости дождевальных машин "Фрегат" и "Bauer" / Н. Ф. Рыжко [и др.] // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия - основа эффективного использования мелиорированных земель : материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ, Тверь, 27 сентября 2017 года / Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель. Том Книга 1. – Тверь: Тверской государственный университет, 2017. – С. 249-252.
9. Юданова, А. В. Повышение проходимости многоопорных дождевальных машин посредством заравнивателей колеи / А. В. Юданова // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2003. – № 2. – С. 388.
10. Крючков, М. М. Необходима ли мелиорация аграриям Рязанской области / М. М. Крючков, О. В. Лукьянова, А. А. Соколов // Научно-практические аспекты инновационных технологий возделывания и переработки картофеля. – Рязань, 2015. – С. 151-154.
11. О.В. Козинская, Факторы, влияющие на применение дождевальной техники / О.В. Козинская, С.Н. Борычев, О.П. Гаврилина // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий: Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета, 2019, Волгоград, 30 января – 01 февраля 2019 года Том 3. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. – С. 124-128.
12. Терентьев, О. В. Использование современного оборудования при орошении / О. В. Терентьев, В. В. Терентьев // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13–15 марта 2024 года. –

Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 133-134.

13. Государственная поддержка технологической трансформации аграрного производства / С. С. Никитин [и др.] // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 15 ноября 2023 года. Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. С. 70-77.

**УДК 621.316.9**

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ С КОНТРОЛЕМ СИНХРОНИЗМА**

В статье говорится о том, что рассмотрены особенности АПВ с КС линий с двухсторонним питанием.

Ключевые слова: АПВ, контроль синхронизма, терминал релейной защиты.

Keywords: automatic reclosing, synchronism control, relay protection terminal.

Устройства автоматического повторного включения (АПВ) предназначены для восстановления питания потребителей после срабатывания защит при аварийных отключениях. Их основная функция заключается в минимизации времени перерыва электроснабжения за счет быстрого повторного включения выключателя. Это способствует повышению надежности работы энергосистемы и предотвращению развития каскадных аварий. При этом важным аспектом является контроль условий включения для обеспечения стабильности сети. «АПВ с контролем встречного напряжения» и «АПВ с контролем синхронизм» являются примерами реализации данного подхода [1].

Физические основы процесса синхронизма и его роль в энергосистемах  
Физическая сущность синхронизма заключается в совпадении частот, напряжений и фазовых углов в соединяемых частях энергосистемы. Это состояние обеспечивает возможность их безопасного объединения без возникновения переходных процессов, которые могли бы нарушить стабильность. Условие синхронизма является необходимым для передачи мощности между участками сети. Отсутствие хотя бы одного из параметров синхронности делает включение невозможным или опасным.

Синхронизм играет критическую роль для поддержания устойчивости энергосистемы и предотвращения повреждения оборудования при асинхронном

включении. Асинхронная подача напряжения приводит к возникновению уравнительных токов, вызывающих электродинамические и термические воздействия на элементы сети.

Принцип действия систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма основан на строгой последовательности операций. Первоначальным этапом является инициирование процесса после отключения линии защитой. Далее происходит измерение ключевых параметров сети для оценки состояния синхронизма. Завершающая стадия включает принятие решения о возможности включения и исполнение соответствующей команды. Предложенная методика гарантирует безопасное и надежное восстановление электроснабжения [2,3,4].

Напряжение и частота являются основными параметрами для мониторинга состояния энергосистемы. Их отклонения от номинальных значений указывают на возникновение рассинхронизации. Изменения напряжения и частоты напрямую связаны с нарушением баланса активной и реактивной мощности. Поэтому данные параметры служат первичными индикаторами для систем автоматического повторного включения.

Угол сдвига фаз позволяет точно оценить степень рассинхронизации между различными частями энергосистемы. Этот параметр отражает мгновенное соотношение между векторами напряжений взаимодействующих сетей. Алгоритмы, основанные на аварийных составляющих, могут быть реализованы двумя способами: через анализ абсолютных значений аварийных токов или через оценку угловых соотношений между центрированными аварийными составляющими и током  $I$ . Следовательно, фазовый сдвиг выступает в качестве критического параметра для формирования решений в системах АПВ.

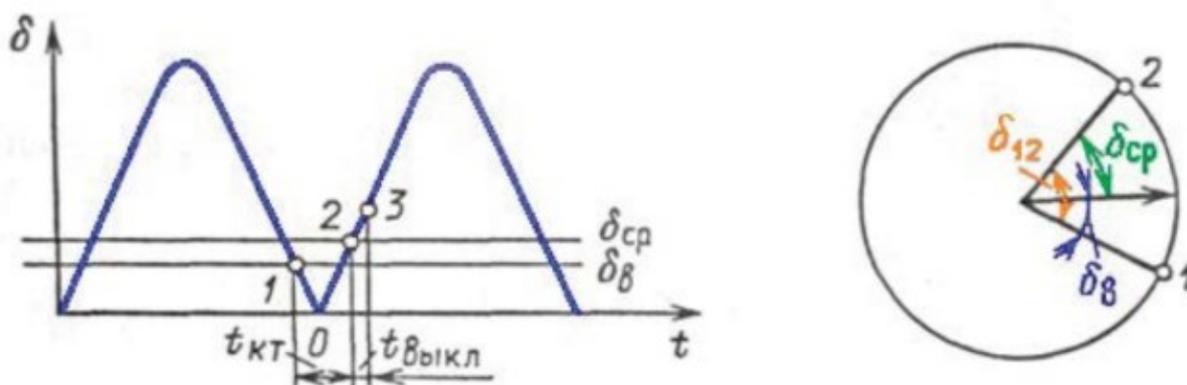


Рисунок 1 – Принцип функционирования устройства АПВ в режиме ожидания синхронизма: а) Динамика угла расхождения между векторами ЭДС в несинхронном режиме; б) Зона срабатывания реле времени АПВ, ограниченная допустимым углом  $\delta_{12}$  [13]

Допустимый угол рассинхронизации определяется исходя из условий динамической устойчивости энергосистемы. Критерии учитывают способность

системы сохранять синхронную работу после коммутационных воздействий. Важным фактором является механическая прочность оборудования, подвергающегося электродинамическим усилиям при включении. Превышение предельных значений угла может привести к нарушению стабильности и повреждению элементов сети.

Математическое моделирование переходных процессов является основой для расчета допустимого угла. Модели включают инерционные характеристики генераторов и параметры линий электропередачи. Целью расчетов является минимизация ударных токов, возникающих при синхронизации. Учет этих факторов позволяет обеспечить безопасное и эффективное повторное включение [5,6].

В системах автоматического повторного включения с контролем синхронизма используются цифровые фильтры для выделения полезных сигналов о параметрах сети из помеховой среды. Эти фильтры обеспечивают эффективную обработку данных в реальном времени, что позволяет точно определять текущее состояние энергосистемы. Спектральный анализ применяется для выделения ключевых характеристик сигналов, таких как частота и амплитуда. Данные методы способствуют повышению надежности обработки информации в условиях наличия помех.

Логика принятия решений в АПВ основана на сравнении текущих значений угла сдвига фаз с расчетными допустимыми пределами. Прогнозирование динамики синхронизации осуществляется на основе анализа изменений параметров сети. При превышении тока уставки порога суммой токов экранов измерительные блоки инициируют блокировку оптического сигнала. Для к.з. в пределах кабеля эти токи синфазны, поэтому САПВ-И1 и САПВ-И2 срабатывают в одном полупериоде. Эффективность современных систем АПВ

Технологические преимущества синхронного АПВ перед традиционными схемами. Синхронное АПВ гарантирует повышенную надежность восстановления питания благодаря обязательной проверке синхронизма перед коммутацией. Эта технология исключает включение в несинхронном режиме, которое может вызвать значительные электродинамические усилия и термическое воздействие на оборудование. Контроль соответствия частот и фазовых углов между восстанавливаемыми участками сети минимизирует риски повреждений. Таким образом, обеспечивается безопасное и устойчивое восстановление электроснабжения [7,8].

Применение синхронного АПВ существенно сокращает время восстановления электроснабжения по сравнению с традиционными системами без контроля синхронизма. Автоматизированная оценка параметров сети и момента включения позволяет избежать задержек, связанных с ручным управлением или ожиданием полной остановки генераторов. «Преимущество технологии интеллектуального АПВ заключается в снижении интенсивности электромагнитного переходного процесса за счет прецизионного управления моментом повторного включения ЛЭП. Это способствует минимизации простоев потребителей и поддержанию стабильности энергосистемы [9].

Монтаж систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма требует особого внимания к настройке параметров синхронизации. Корректная калибровка устройств обеспечивает надежное определение момента допустимого включения. Точная установка уставок по напряжению, частоте и углу сдвига фаз предотвращает ложные срабатывания. Данные настройки учитывают специфику конкретной энергосистемы и характеристики оборудования.

В процессе эксплуатации необходима регулярная проверка точности измерительных цепей синхронизма. Верификация каналов измерения угла сдвига фаз и частоты гарантирует достоверность данных для принятия решений. Для эффективного управления современными энергосистемами требуется внедрение комплекса мониторинговых решений на базе интеллектуальных сетей нового поколения. Данная система должна обеспечивать сбор и анализ информации о динамике процессов в энергообъединениях, включая исследование взаимовлияния компонентов единой энергосистемы. Критически важным является функционал, позволяющий анализировать синхронизацию и демпфирование колебательных режимов при различных типах возмущений - как апериодических, так и колебательных. Эта потребность особенно актуальна в условиях регулярно возникающего в отдельных регионах дефицита генерируемой мощности, не покрываемого существующими генерирующими ресурсами. Периодический контроль поддерживает работоспособность системы в изменяющихся условиях сети [10,11].

В Российской Федерации системы АПВ с контролем синхронизма нашли успешное применение на магистральных линиях электропередачи напряжением 220 кВ. Данные устройства предотвращают развитие каскадных аварий, способных привести к масштабным отключениям электроэнергии. Особую эффективность такие системы демонстрируют на протяженных ЛЭП, где риски рассинхронизации особенно высоки. Реализация синхронного АПВ позволяет восстановить питание потребителей без длительных перерывов. Конкретным примером является опыт эксплуатации устройств АПВ на линиях, связывающих крупные энергоузлы в Единой энергосистеме России. Применение контролируемого включения с проверкой синхронизма существенно повысило надежность этих ответственных связей. Устройства обеспечивают повторное включение только при допустимых значениях угла сдвига фаз между включаемыми участками сети. Это минимизирует риски повреждения оборудования и возникновения системных аварий.

Однако внедрение систем АПВ с контролем синхронизма на некоторых объектах сопровождается проблемами ложных срабатываний. Особенно это характерно для подстанций, работающих в нестабильных режимах с частыми колебаниями напряжения и частоты. В таких условиях алгоритмы определения синхронизма могут давать некорректные результаты, блокируя необходимое включение или разрешая его при недопустимых параметрах.

Системы автоматического повторного включения с контролем синхронизма представляют собой технологически совершенный механизм,

принципиально отличающийся от традиционных АПВ. Их ключевая особенность заключается в способности предотвращать асинхронное включение после коротких замыканий за счет непрерывного мониторинга угла сдвига фаз. Это обеспечивает фундамент для повышения устойчивости современных энергосистем, что было подробно рассмотрено в первой главе при анализе принципов действия и компонентов данных систем [12].

Ключевым преимуществом синхронного АПВ являются интеллектуальные алгоритмы обработки параметров сети, такие как напряжение, частота и угол сдвига фаз. Эти алгоритмы позволяют точно определять допустимый диапазон рассинхронизации для безопасного включения оборудования, что минимизирует роль человеческого фактора. Благодаря этому обеспечивается оперативное восстановление питания без риска возникновения каскадных аварий. Практическое внедрение систем АПВ с контролем синхронизма, как подтверждают реальные кейсы применения в энергетике, существенно снижает ущерб от повреждений оборудования. Во второй и третьей главах было показано, что такие системы не только повышают надежность энергоснабжения, но и демонстрируют значительные эксплуатационные преимущества по сравнению с традиционными решениями.

Внедрение современных систем АПВ с контролем синхронизма имеет стратегическое значение для энергетики Российской Федерации. Они напрямую способствуют выполнению растущих требований к бесперебойности питания в условиях цифровизации и увеличения доли распределенной генерации. Как следует из анализа, проведенного в работе, данные системы эффективно предотвращают масштабные отключения и связанные с ними экономические потери [13].

### ***Библиографический список***

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти

доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного

агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Особенности автоматического повторного включения с контролем синхронизма // Сборник научных статей цифровая электроника: проблемы и достижения. Вып. 1. – [Б.м.], 2012. – С. 41-53.

14. Причины отказов трансформаторов напряжением 10/0,4 КВ / С. Н. Гобелев [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 145-151.

15. Московка, И. В. Особенности регулируемого электропривода для животноводческих помещений / И. В. Московка, В. А. Кончин, В. И. Серебровский // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 03 июня 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 110-114.

**УДК 621.791.76**

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНВЕРТОРА ПИТАНИЯ МАШИНЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ**

В статье говорится о том, что были созданы алгоритмы и формулы для описания работы высокочастотного инвертора в системе контактной сварки и определение оптимальных значений элементов силовой цепи (транзисторов, конденсаторов, трансформаторов) для повышения эффективности.

В современных системах контактной сварки активно применяются инверторные источники питания повышенной частоты на основе выпрямителей со средней точкой, работающие на частотах порядка 1000 Гц. Их ключевыми преимуществами являются сокращение массогабаритных показателей сварочных трансформаторов и расширение технологического потенциала оборудования, что особенно востребовано в таких отраслях, как приборостроение, электронная промышленность и автомобилестроение [1,2].

Однако повышение рабочей частоты сопровождается ростом полной мощности, потребляемой из сети, и снижением коэффициента полезного действия оборудования. Это обусловлено увеличением полного сопротивления сварочного трансформатора, которое начинает доминировать над сопротивлением нагрузки. Указанные факторы приводят к росту эксплуатационных расходов и себестоимости производимых изделий.

Актуальной задачей является разработка энергоэффективных источников питания частотой 1000-10000 Гц для сварки специальных материалов (цирконий, титан, радиационно-стойкие стали). Для её решения требуется создание адекватной схемы замещения инверторного источника. В существующих моделях трёхобмоточный трансформатор обычно представляется в виде двух двухобмоточных, без учёта взаимного влияния их магнитных полей рассеяния на электромагнитные процессы в системе[3,4,5].

В настоящем исследовании предложена усовершенствованная схема замещения, учитывающая взаимное влияние полей рассеяния трансформаторов. Разработана методика расчёта частотных зависимостей электромагнитных параметров трёхобмоточного сварочного трансформатора. Модель позволяет анализировать полную мощность, КПД и сварочный ток источника питания. Эффективность предложенного подхода подтверждена экспериментальными исследованиями.

Архитектура силовой части преобразователя питания реализована по каскадной схеме и включает следующие ключевые модули. Трёхфазный сетевой выпрямительный блок, выполняющий функцию первичного AC/DC преобразования. Емкостной накопительный фильтр, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения. Транзисторный инверторный мост, осуществляющий DC/AC преобразование с формированием высокочастотного напряжения. Специализированный трёхобмоточный трансформатор, содержащий одну первичную (1) и две последовательно-согласованные вторичные обмотки (2, 3), обеспечивающие необходимый коэффициент трансформации и гальваническую развязку. Однофазный двухполупериодный выпрямитель, построенный по схеме со средней точкой вторичной обмотки трансформатора. Активно-индуктивная нагрузочная цепь, моделирующая реальные условия эксплуатации источника питания. Данная структура обеспечивает многостадийное преобразование электроэнергии с повышением частоты для миниатюризации силовых компонентов [6,7].

При формировании эквивалентной модели пренебрегли анализом электромагнитных явлений в цепи сетевого трёхфазного выпрямительного устройства и сглаживающего фильтра, что обусловлено их достаточной изученностью в научно-технической литературе. Модель инвертора представлена в виде источника знакопеременной электродвижущей силы  $E$ , характеризующейся на каждом полупериоде либо меандром, либо трапецидальной формой сигнала с определённым коэффициентом заполнения  $T_1/T$ , где  $T_1$  обозначает длительность импульса ЭДС, а  $T$  соответствует полному периоду сигнала. Временной интервал повторения данной электродвижущей

силы определяется выражением  $T = 1/f$ , где параметр  $f$  представляет рабочую частоту инверторного преобразователя.

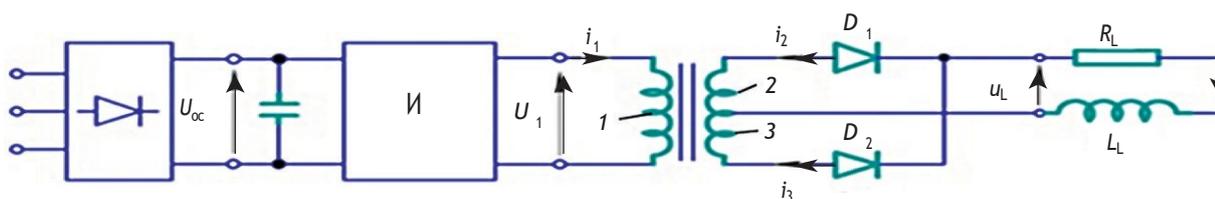


Рисунок 1 – Схема инверторного источника питания [13]

Процесс протекания электрического тока через первичную обмотку 1-2 трансформатора индуцирует электродвижущую силу на выводах вторичной обмотки 1-3. Данное явление обусловлено воздействием магнитного поля рассеяния, создаваемого обмоткой 1-2, силовые линии которого пронизывают витки вторичной обмотки 3[8]. Указанная электродвижущая сила математически моделируется с помощью коэффициента взаимной индуктивности между соответствующими обмотками силового трансформатора:

$$e_M = -M \frac{di_2}{dt_2}$$

Уровень наводимой в обмотке 1-3 электродвижущей силы зависит от величины тока  $i$  в обмотке 2 и параметра  $M$ , представляющего взаимную индуктивность, создаваемую магнитными потоками рассеяния обмоток 1-2 и 1-3. Для анализа работы трансформатора с учетом изменения наводимой электродвижущей силы на разомкнутых контактах вторичных цепей может быть применена следующая система уравнений:

$$e_{02} = r_{12}i_2 + L_{12} \frac{di_2}{dt} + \frac{r_1}{k_{12}k_{13}}i_3 + M \frac{di_3}{dt} + u_{нагр1}$$

$$e_{03} = r_{13}i_3 + L_{13} \frac{di_3}{dt} + \frac{r_1}{k_{12}k_{13}}i_2 + M \frac{di_2}{dt} + u_{нагр2}$$

где  $i_2, i_3$  —  $i_2, i_3$  – мгновенные значения токов вторичных обмоток;  $e_{02}, e_{03}$  – ЭДС, наводимые в обмотках 2 и 3 при холостом ходе;  $L_{12}''$ ,  $r_{12}''$  – параметры рассеяния и потерь для пары 1–2;  $L_{13}''$ ,  $r_{13}''$  – параметры рассеяния и потерь для пары 1–3. На рисунке 2,б представлена эквивалентная схема, являющаяся графической интерпретацией системы уравнений (2). Конструктивно модель состоит из двух гальванически развязанных эквивалентных цепей, соответствующих двухобмоточным трансформаторам 1–2 и 1–3, чьи параметры нормированы относительно вторичных обмоток. Принципиальным отличием данной модели от классических схем замещения двухобмоточных трансформаторов является введение управляемых источников ЭДС  $e_2$  и  $e_3$ , а также наличие индуктивной связи между индуктивностями рассеяния обоих трансформаторов. Данные конструктивные особенности позволяют учесть взаимное влияние магнитных полей рассеяния, что обеспечивает более точное моделирование электромагнитных процессов в системе.

Предложенная модель трехобмоточного трансформатора, дополненная идеальным источником напряжения (рис. 3), имеет принципиальные структурные отличия от ранее рассмотренной эквивалентной схемы (рис. 2, б).

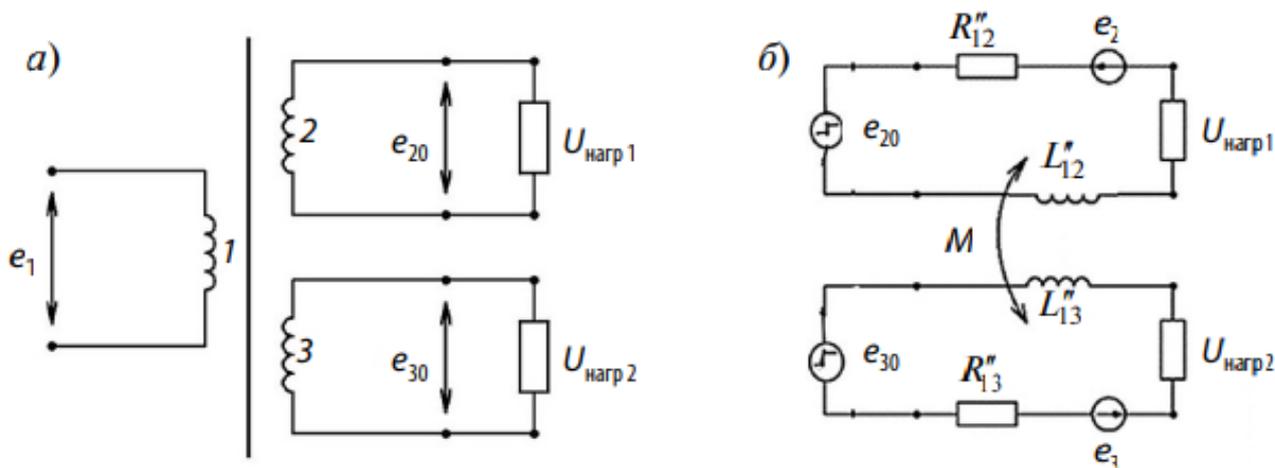


Рисунок 2 – Трехобмоточный трансформатор: физическая реализация (а) и эквивалентная схема (б) [13]

На основе данной модели на рисунке 4 представлена эквивалентная схема трансформаторно-выпрямительного каскада инверторного сварочного источника. Модель включает параметры  $L_{12}$ ,  $R_{12}$ ,  $L_{13}$ ,  $R_{13}$ , которые соответствуют индуктивностям рассеяния и активным сопротивлениям короткого замыкания для трансформаторных пар 1–2 и 1–3. Все указанные параметры приведены к соответствующим вторичным обмоткам [9,10,11].

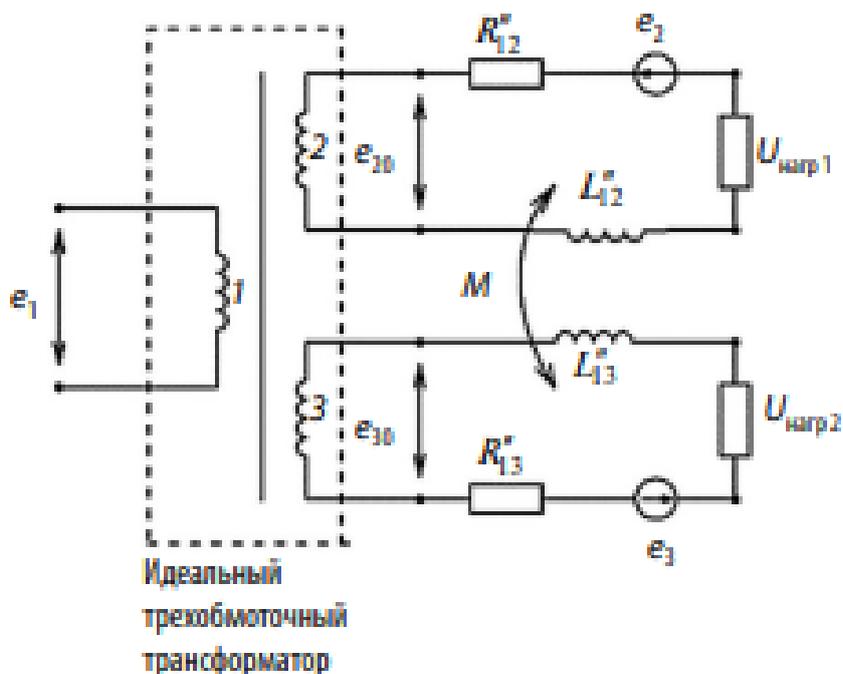


Рисунок 3 – Эквивалентная схема трехобмоточного трансформатора для оптимизации энергопотребления инверторной системы [13]

Создана усовершенствованная модель инверторного сварочного источника, обеспечивающая точный расчет ключевых эксплуатационных параметров: полной потребляемой мощности, коэффициента полезного действия и величины сварочного тока. Особенностью модели является учет взаимного влияния магнитных полей рассеяния между двухобмоточными трансформаторами в составе трехобмоточной системы, а также возможность анализа гармонических составляющих в токовых характеристиках обмоток. Экспериментальная верификация подтвердила достоверность расчетных значений сварочного тока и потребляемой мощности [12].

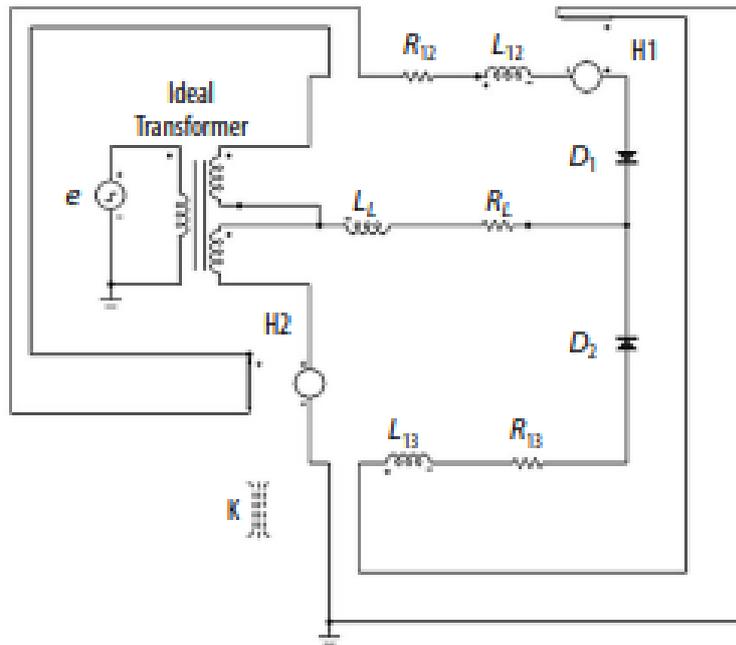


Рисунок 4 – Инверторный преобразователь [13]

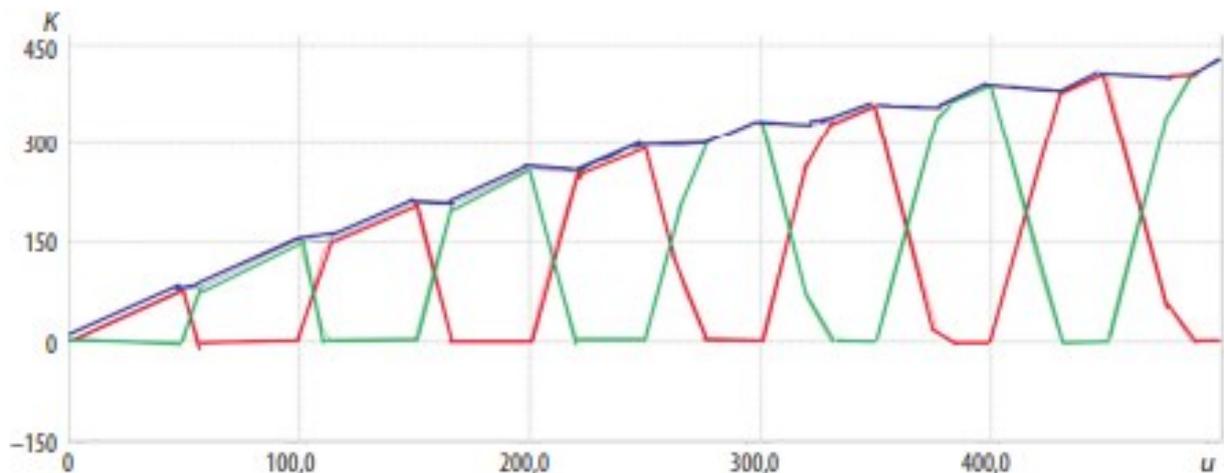


Рисунок 5 – Диаграммы токов: измерение во вторичных обмотках (красный/зеленый) и результирующий сигнал в нагрузке (синий) [13]

Установлено, что в частотном диапазоне 1-10 кГц расчетные и экспериментальные частотные характеристики демонстрируют расхождение не более 10 %.

Исследование выявило значительную зависимость сопротивлений короткого замыкания двухобмоточных трансформаторов от частоты: при росте частоты от 1 до 10 кГц активная составляющая сопротивления увеличивается приблизительно в 4 раза, что приводит к заметному снижению КПД преобразователя. Определен коэффициент связи магнитных полей рассеяния между двухобмоточными трансформаторами, составляющий  $\approx 0.5$ . Данный параметр оказывает существенное влияние на форму токов в обмотках и энергопотребление системы, при этом демонстрируя слабую зависимость от частотных изменений [13].

### *Библиографический список*

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической

конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Разработка схемы замещения инверторного источника питания машины контактной сварки / Л. И. Сахно, О. И. Сахно, П. Д. Федоров, Ю. В. Радомский // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 91-100.

14. Построение 3D моделей трансформаторов напряжения / И. С. Никушин, Д. Е. Каширин, Н. Б. Нагаев, И. О. Елисеев // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича

Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 289-296.

15. Кончин, В. А. К вопросу об оптимизации плазменно-порошковой наплавки / В. А. Кончин // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : сборник научных статей 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 20 октября 2023 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2023. – С. 63-68.

**УДК 621.316.925.1**

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

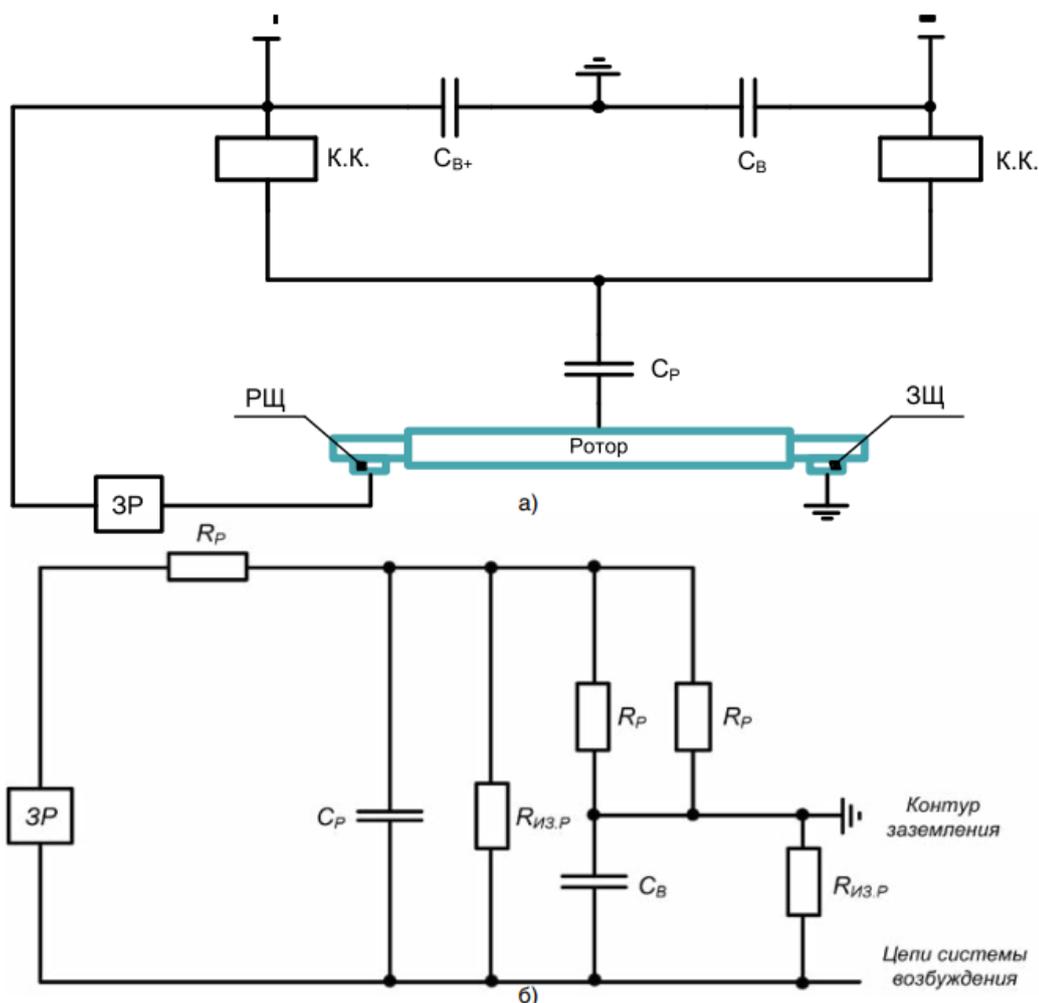
## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ РОТОРА ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ ПРИ РАБОТЕ ГЕНЕРАТОРА С НЕСКОЛЬКИМИ СИСТЕМАМИ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

В статье говорится о анализе схем защиты ротора генератора от замыкания на землю и по результатам исследования разработан комплекс защитных устройств.

Современная энергетика неизменно стремится к повышению надежности и эффективности работы генерирующего оборудования. Синхронные генераторы – ключевые элементы энергосистем, и их бесперебойная работа критически важна. Одним из наиболее серьезных видов повреждений, способных привести к длительному простоему и значительным экономическим потерям, является замыкание обмотки ротора на землю. В отличие от трехфазной обмотки статора, обмотка ротора имеет изоляцию относительно корпуса генератора. Однако в процессе эксплуатации изоляция может деградировать под воздействием механических напряжений, вибраций, перегрева, влажности или старения материала. Это приводит к постепенному снижению электрической прочности и, в конечном итоге, к возникновению замыкания на землю [1,2].

Особую актуальность эта проблема приобретает для мощных турбо- и гидрогенераторов, оснащенных современными, часто резервированными, системами возбуждения. Сегодня многие генераторы используют несколько систем возбуждения, которые могут работать параллельно или переключаться в случае отказа основной системы. Это повышает общую надежность энергоблока, но одновременно усложняет задачу обнаружения и локализации замыканий в цепи ротора. Наличие нескольких источников, питающих обмотку возбуждения, может создавать дополнительные пути для токов замыкания, изменяя их характер и затрудняя работу традиционных схем защиты.

Своевременное обнаружение и отключение поврежденного генератора от сети (или, как минимум, от системы возбуждения) при возникновении замыкания на землю в роторе позволяет предотвратить развитие однофазного замыкания в двухфазное, значительно уменьшить разрушительные последствия для обмотки и магнитопровода ротора, а также сократить время восстановительных работ. Поэтому разработка и внедрение эффективных и надежных систем защиты ротора генератора являются приоритетной задачей для инженеров-энергетиков [3,4,5].



где  $C_{B+}$  – емкость положительного полюса цепей системы возбуждения по отношению к контуру заземления станции;  $C_{B-}$  – емкость отрицательного полюса цепей системы возбуждения по отношению к контуру заземления станции;  $C_P$  – емкость цепей ротора по отношению «телу» ротора; ЗР – защита ротора от замыкания на землю в одной точке; РЩ – релейная щетка, обеспечивающая скользящий контакт ЗР с валом ротора; ЗЩ – заземляющая щетка, обеспечивающая контакт вала ротора с контуром заземления станции; К.К. – контактные кольца.

Рисунок 1 – Принципиальная схема коммутации устройств защиты ротора в цепь возбуждения (а) и соответствующая ей эквивалентная схема (б) [13]

Существующие методы защиты ротора от замыкания на землю. Традиционные методы защиты ротора от замыкания на землю основаны на регистрации токов или напряжений, возникающих при нарушении изоляции. Рассмотрим основные из них [6].

Метод непрерывного контроля изоляции (с использованием измерительных приборов постоянного тока). Этот метод является одним из наиболее старых и простых. Суть его заключается в постоянном контроле сопротивления изоляции обмотки ротора относительно корпуса. Для этого между одним из полюсов возбuditеля (или выводом обмотки возбуждения) и “землей” (корпусом генератора) включается измерительный прибор постоянного тока (например, вольтметр и резистор или омметр), формирующий чувствительную цепь. Принцип действия: Пока изоляция цела, утечки тока на землю минимальны. При первом замыкании на землю (один полюс обмотки ротора “садится” на корпус) в цепи измерителя появляется ток или напряжение, сигнализирующее о повреждении [7,8].

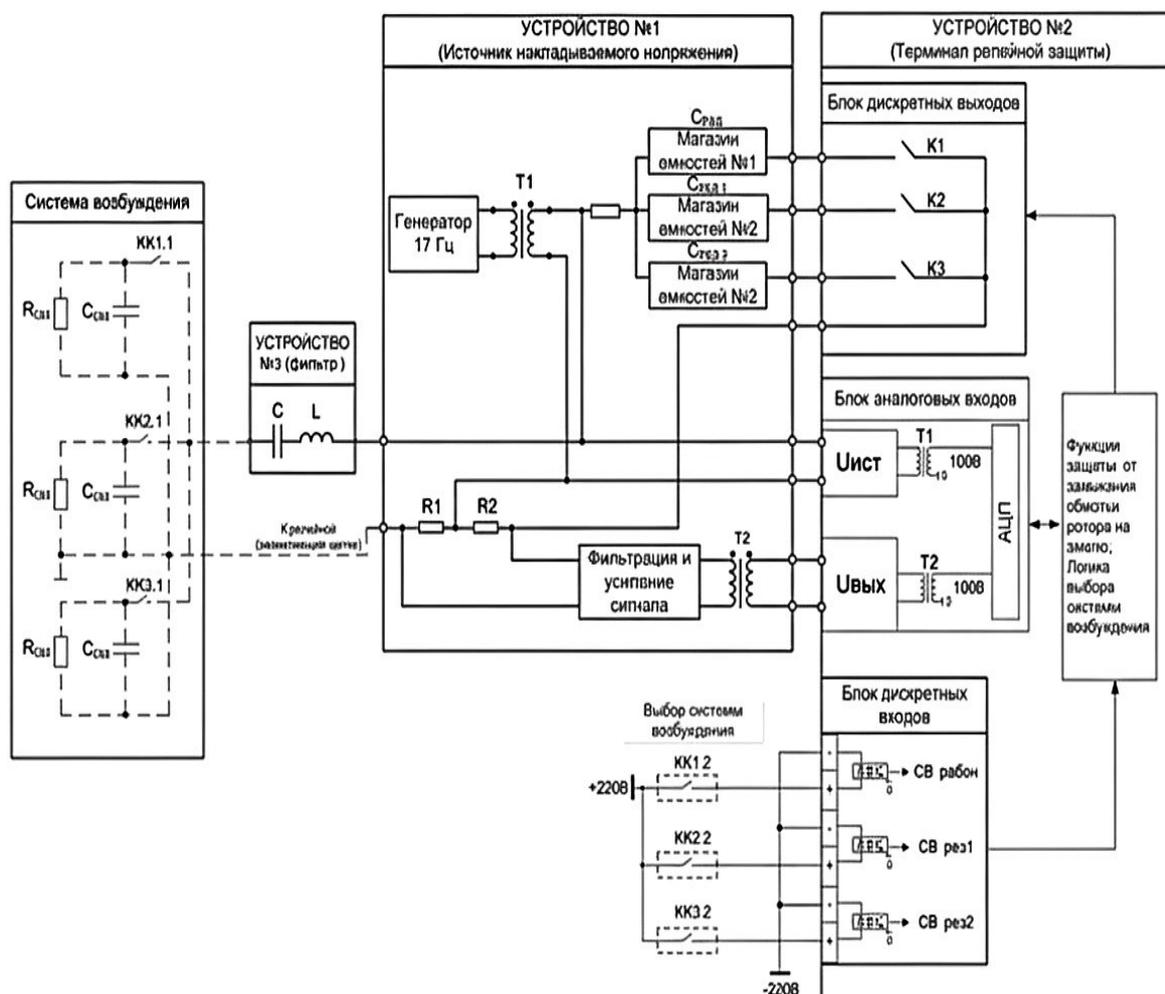


Рисунок 2 – Структурная схема комплекса защиты от замыканий на землю в обмотке ротора генератора [13]

Метод с использованием внешнего источника переменного тока

Для повышения чувствительности и надежности обнаружения первого замыкания на землю стали применяться защиты, использующие внешний низкочастотный источник переменного тока. Специальный источник переменного тока (частота 4-25 Гц, чтобы не влиять на работу основной

системы возбуждения и не вызывать ошибок от систем защиты статора) подключается одним концом к выводу возбуждения, другим – к корпусу генератора. При замыкании на землю ток от этого источника начинает протекать через точку замыкания на корпус, а затем через измерительный элемент защиты, который фиксирует этот ток.

Метод с использованием напряжения сдвига фаз (для косвенного обнаружения второго замыкания) Некоторые более продвинутые системы защиты пытаются косвенно обнаружить вероятность возникновения второго замыкания, отслеживая параметры обмотки. Хотя это не прямая защита от “второго замыкания”, это позволяет своевременно сигнализировать о проблемах [9].

#### Дифференциальная защита ротора

Хотя это не прямой метод защиты от замыканий на землю, дифференциальная защита может применяться в обмотках возбуждения с отпайками, реагируя на разницу токов на входе и выходе секции. Однако для защиты от замыканий на землю она менее эффективна, так как ток замыкания уходит на корпус, а не возвращается по контролируемой цепи.

Большинство традиционных защит заточены под обнаружение первого замыкания. Возникновение второго замыкания на землю в обмотке ротора, особенно при наличии нескольких систем возбуждения, является гораздо более опасным и сложным для обнаружения сценарием. Особенности замыканий на землю в роторе при работе генератора с несколькими системами возбуждения наличие нескольких систем возбуждения значительно усложняет картину замыканий на землю в роторе. Под “несколькими системами возбуждения” могут подразумеваться:

Резервирование: Основная и резервная системы возбуждения, одна из которых находится в горячем или холодном резерве.

Параллельная работа: Две или более систем возбуждения работают синхронно, подавая ток на общую обмотку ротора (например, в мощных генераторах с отдельными цепями возбуждения) [10].

#### Изменение картины распределения токов замыкания

При наличии одной системы возбуждения ток первого замыкания замыкается через источник возбуждения, обмотку, точку замыкания на землю, корпус и обратно к источнику. Когда же систем возбуждения несколько, и они подключены к обмотке ротора, появляется несколько возможных путей для тока замыкания- через несколько источников: ток замыкания может протекать как от основной, так и от резервной (или параллельно работающей) системы возбуждения. Это может привести к размыванию общего тока замыкания, снижая чувствительность отдельных защит [11].

Различные потенциалы заземления: Если системы возбуждения имеют различные точки заземления или особенности схемы соединения с “землей”, их взаимодействие при замыкании может быть непредсказуемым.

Самая опасная ситуация возникает при появлении второго замыкания на землю в роторе. При этом между двумя точками замыкания образуется замкнутый контур, по которому начинает протекать значительный постоянный

ток возбуждения, шунтируя часть обмотки. Последствия могут быть катастрофическими. Перегрев и повреждение ротора: ток, проходящий через поврежденную часть обмотки и магнитопровод, может быть значительно выше номинального, вызывая локальный перегрев, разрушение изоляции, деформацию обмотки и даже расплавление металла.

Механические силы. Несимметричное распределение тока в обмотке ротора приводит к возникновению несимметричных электромагнитных сил, что вызывает вибрации, биения вала и может привести к механическим повреждениям подшипников и уплотнений [12].

Нарушение магнитного поля: Шунтирование части обмотки изменяет магнитную симметрию ротора, что может вызвать снижение эффективности генератора и угрозу для статорной обмотки.

Для генераторов с несколькими системами возбуждения обнаружение второго замыкания становится еще более сложным, поскольку каждая система может по-своему реагировать на такое повреждение, а суммарный эффект может быть трудным для интерпретации. Стандартные защиты обычно не способны надежно выявлять второе замыкание, что делает ситуацию крайне опасной [13].

Защита ротора синхронного генератора от замыканий на землю является фундаментальной задачей для обеспечения надежности и безопасности энергетических систем. С развитием технологий и повсеместным внедрением генераторов с несколькими системами возбуждения, эта задача обретает новые сложности и требует пересмотра традиционных подходов. Первое замыкание, хотя и менее критичное, является предвестником более серьезных повреждений. Второе замыкание – это авария, которая может привести к значительным разрушениям. Поэтому современные системы защиты должны быть ориентированы не только на обнаружение самого факта замыкания, но и на определение его характера (количество замыканий), а в идеале и на частичную локализацию повреждения. Предложенные решения, такие как многозональная защита, анализ гармонических составляющих и комбинированные интеллектуальные системы, представляют собой перспективные направления развития. Интеграция этих методов с применением современных микропроцессорных технологий и алгоритмов анализа данных позволит создать более надежные и чувствительные системы защиты, способные эффективно диагностировать и предотвращать развитие аварийных ситуаций в обмотке ротора при работе генератора с несколькими системами возбуждения. Это является ключом к повышению общей эксплуатационной надежности и долговечности генерирующего оборудования, что в конечном итоге способствует стабильности функционирования всей энергосистемы.

### ***Библиографический список***

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Инновационный вектор развития

отечественного АПК: Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика

РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань:РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Особенности автоматического повторного включения с контролем синхронизма// Сборник научных статей цифровая электроника: проблемы и достижения. Вып. 1. – [Б.м.], 2012. – С. 54-58.

14. Горячкина, И.Н. Основополагающие принципы оценки качества автотранспортных перевозок / И.Н. Горячкина, М.В. Евсенина // Техника и технологии: пути инновационного развития. - Курск. - 2020. - С. 116-120.

15. Каширин, Д. Е. Стенд для испытаний системы частотный регулятор - асинхронный электродвигатель / Д. Е. Каширин, С. Н. Гобелев, Н. Б. Нагаев // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 34-35.

16. Марков, И. С. Анализ цифровизации процессов в АПК / И. С. Марков, В. А. Кончин // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 05 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 162-167.

## Секция 2. Актуальные вопросы инженерно-технического обеспечения предприятий АПК

УДК 631.333

*Акулинин А.Д., студент 5 курса,  
Юмаев Д.М., к.т.н.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

### РЫНОК СОВРЕМЕННЫХ САМОХОДНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

Трансформация сельскохозяйственной отрасли привела к тому, что самоходный опрыскиватель перестал быть экзотикой — он превратился в обязательный элемент технологического парка современного хозяйства. Статистика показывает, что доля фермеров, использующих такую технику, неуклонно растёт, а те, кто пока обходится без неё, всё чаще рассматривают возможность приобретения.

Развитие самоходных опрыскивателей — важный шаг в повышении рентабельности сельхозпроизводства. Такие машины позволяют за короткое время обрабатывать обширные площади, точно дозировать агрохимикаты, снижать расход топлива и рабочей силы, а также работать с высокостебельными культурами благодаря увеличенному клиренсу. Автоматизация процессов минимизирует человеческий фактор, а модульность конструкции даёт возможность использовать технику круглый год. В итоге хозяйство получает инструмент, который сокращает издержки и одновременно повышает качество защиты растений. [3,4].

На отечественном рынке преобладают две конструктивные схемы:

- высокочлиренсные опрыскиватели (с увеличенным просветом);
- машины на шинах низкого давления (минимизирующие уплотнение почвы).

Технические характеристики современных моделей выводят их на уровень многофункциональных агрокомплексов. Их ключевая функция — точное и экономичное внесение:

- пестицидов (против болезней);
- гербицидов (против сорняков);
- инсектицидов (против вредителей);
- удобрений (для повышения урожайности) [5,6].

В рамках выставки «ЮГАГРО 2024» компания «Агромиг» (Воронеж) презентовала самоходный опрыскиватель-разбрасыватель модели КОРУЛОВ Х1. Отличительные черты новинки — обновлённая стилистика, усиленные конструктивные элементы и выдающаяся манёвренность в сочетании с высокой производительностью. Технические характеристики:

1. Двигатель: ММЗ Д-245 мощностью 140 л.с.

2. Шасси: 6-колёсное с полным приводом, две поворотные оси (передняя и задняя).

3. Ёмкость для рабочего раствора: 5000 л (разделена на 2 секции по 2500 л).

4. Штанги: доступны варианты с захватом 24, 28, 32 и 36 м.

5. Вес машины: 4300 кг, что обеспечивает низкое давление на почву — 0,3 кг/см<sup>3</sup>.

6. Производительность: до 100 га/ч.

7. Дополнительные возможности: можно установить разбрасыватель минеральных удобрений объёмом 2,5 или 4 куб. м. [1].

Стоимость: 11 млн. руб [2].

Компания ZULF AGRO (Волгоград) разработала семейство самоходных агрегатов ZULF BAGIRA на базе УАЗ Патриот, совмещающих функции опрыскивателя и разбрасывателя. В линейке доступны несколько модификаций — в частности, BAGIRA 3000M. Отличительные особенности машин: широкий спектр применения, высокая производительность и возможность настройки под специфические условия работы. Технические характеристики:

1. Двигатель: доступны два варианта — ММЗ Д-245 (122 л.с.) или ЯМЗ-534 (150 л. с.).

2. Шасси: 6-колёсное с возможностью выбора привода на 4 или 6 колёс.

3. Ёмкость для рабочей жидкости: 3000 л.

4. Ширина захвата штанги: 24–28 м (в зависимости от комплектации).

5. Количество форсунок: 48 штук, расположенных с интервалом 50 см.

6. Диапазон расхода жидкости: 30–300 л/мин.

7. Габариты: длина — 9420 мм, ширина — 2450 мм, высота — 2986 мм.

8. Дорожный просвет: 520 мм на шинах низкого давления [1].

Стоимость: 12 млн. руб. [2].

Среди недавних достижений российского машиностроения — модель Туман-4, разработанная заводом «Пегас-Агро» (Самарская область). Выставка «Агросалон-2024» стала площадкой для её презентации. Для опрыскивателя выбран двигатель Yunque производства КНР. Мощность агрегата составляет 160 л.с., а крутящий момент достигает 568 Нм на частоте вращения 1900 об/мин. Данный мотор, зарекомендовавший себя в грузовиках Foton и JAC, отличается хорошей надёжностью. В апреле 2025 года машина пошла в серийное производство. Технические характеристики:

1. Клиренс: регулируемый, от 1,55 до 2 м (динамический) — позволяет работать с высокорослыми культурами на поздних стадиях вегетации.

2. Высота штанги: до 2,8 м.

3. Ширина захвата: до 30 м.

4. Объём бака для рабочей жидкости: 3 000 л.

5. Расход раствора: регулируемый, от 10 до 450 л/га.

6. Количество форсунок: 60 (собственного производства), обеспечивают равномерное распределение удобрений.

7. Обслуживаемые междурядья: 45 и 70 см.

8. Колёса: самые узкие в классе — 240 мм (минимизируют вытаптывание посевов).

9. Производительность: до 56 га/ч.

10. Рабочая скорость: 5–25 км/ч (гидростатическая трансмиссия) [1].

Стоимость: 23 млн. руб. [2].

Одной из новинок стал самоходный опрыскиватель, выпущенный под торговой маркой «РОСФЕР». Это высокочлиренсный агрегат, он напоминает американский аналог. Получил название «РОСФЕР» ОШ-СВ-1/4000/1600. Модель имеет независимую пружинную подвеску без пневмоподушек, бак для рабочего раствора на 4000–4200 литров, штангу на 36 метров, а также клиренс 1,7 метров. На новом опрыскивателе «РОСФЕР» установлена электрическая система автоматического подруливания, которая обеспечивает точность в пределах 2–5 см. Эта система принимает РТК поправки от УВК (устройства верхнего контроля) стационарной базовой станции в хозяйстве или от сети GSM базовых станций. Применение этой технологии позволяет значительно экономить горюче-смазочные материалы за счёт оптимизации количества проходов. Кроме того, технология гарантирует работу без пропусков и перекрытий, что приводит к экономии не только времени, но и пестицидов, семян и удобрений. Технические характеристики:

1. Двигатель мощностью 299 л.с.

2. Шасси: 6-колёсное с полным приводом.

3. Ёмкость для рабочего раствора: 4000 л.

4. Штанги с захватом 30 м.

5. Вес машины: 11200 кг.

6. Производительность: до 60 га/ч.

7. Дополнительные возможности: возможность дифференцированного внесения растворов по картам-заданиям; автоматическая система рулевого управления; отдельное отключение концевых форсунок штанги (2x18); контроль 11 секций штанги; автономная заправка с миксером; мембранно-поршневой химический насос с гидроприводом [1].

Опрыскиватель «РОСФЕР» ОШ-СВ-1/4000/1600 сочетает в себе высокую проходимость, вместительность и высокотехнологичные системы управления, что делает его эффективным инструментом для современных агропредприятий.

Стоимость: 26 млн. руб [2].

Самоходные опрыскиватели становятся незаменимыми в современном агропроизводстве. Они ускоряют обработку полей, экономят ресурсы (химикаты, топливо, труд), позволяют работать с высокорослыми культурами и в сложных условиях, снижают экологический след за счёт точного дозирования, а также могут использоваться круглогодично благодаря сменному оборудованию. Их развитие напрямую влияет на эффективность и устойчивость сельхозпредприятий.

Исчезновение с рынка некоторых американских и европейских марок самоходных опрыскивателей не стало проблемой для российского агросектора. Напротив, оно активизировало отечественных производителей, которые приступили к разработке машин, отвечающих запросам местных фермеров.

Приоритетными остаются не количественные показатели, а долговечность и экономическая целесообразность техники. Отечественные модели дают аграриям альтернативу импортным аналогам, а их обслуживание облегчается за счёт оперативного доступа к комплектующим через официальных представителей [7].

### ***Библиографический список***

1. Агротехник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agrotechnik.ru>

2. ВерумАгро [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://verum-agro.ru/>

3. Анализ работы устройства для обработки горячим туманом биопрепаратов на основе применения информационных технологий / О. В. Терентьев, А. И. Ликучев, Д. М. Юмаев, М. Ю. Костенко // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 138-143.

4. Юмаев, Д. М. Исследование процессов 3D печати форсунок-распылителей для внесения жидких минеральных удобрений / Д. М. Юмаев, А. С. Лазутин, Г. К. Рембалович // Инновационные решения для АПК , Рязань, 16 февраля 2023 года / МСХ РФ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ Совет молодых учёных и специалистов Рязанской области . – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 202-207.

5. Исследование параметров современных систем внесения жидких удобрений на основании анализа форсунок-распылителей / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, А. В. Ерохин // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 24 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 224-228.

6. Совершенствование процесса внесения жидких минеральных удобрений при посеве / Э. М. Фунтиков, С. В. Николаев, И. С. Николаева, Д. М. Юмаев // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, 26 декабря 2023 года, Рязань, 26 декабря 2023 года. – Рязань : РГАТУ, 2023. – С. 69-70.

7. Совершенствование технических средств внесения жидких минеральных удобрений при посеве / Э. И. Фунтиков, Е. А. Шамбазов, И. С. Николаева, Д. М. Юмаев // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, 26 декабря 2023 года, Рязань, 26 декабря 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 67-68.

*Балданов М.Б., к.т.н., доцент,  
Бурятская государственная сельскохозяйственная академия  
им. В.Р. Филиппова,  
г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, РФ  
Шуханов С.Н., д.т.н., профессор  
Иркутский государственный университет,  
г. Иркутск, Иркутская область, РФ*

## **КОРРЕЛЯЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНОМЕТАТЕЛЕМ С ПРОЧНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Введение. Разработка и внедрение в производство перспективных технических средств механизации сельского хозяйства способствуют становлению аграрного сектора на качественно новый уровень развития. Во многом эти вопросы помогает решить помощь со стороны науки [1-4]. При этом приоритетное значение имеет техническое обеспечение производственных процессов растениеводства, включая переработку полученной продукции [5-9].

Цель работы. Установление связи механических повреждений с прочностными свойствами зерновых материалов для проектирования технических средств метания зерна.

Материалы и методы. Изучение состояния вопроса на основании обзора информации по рассматриваемой теме. Анализ полученного материала с выработкой выводов.

Результаты исследования. Механические повреждения зернового материала структурируются на две категории: макро и микротравмы. Повреждения, сопровождающиеся отклонением от семени доли ее основной части представляют собой макротравмы, а повреждения лишь только поверхности материала семени (ссадины, в том числе вмятины и т.п.) – микротравмы.

Функционирование зернометательной техники сопряжено с деформацией зерен. При этом имеет место быть такие виды воздействий на обрабатываемый материал как статическое сжатие, включая динамический удар, а также трение. При этом наблюдается изменение формы зерновки, кроме того, размеров, свойств и физического состояния. Эти изменения отрицательно влияют как на посевные, так и на продуктивные показатели зерна.

Обоснование конструктивных параметров и режимов работы технических средств для метания зерна ключевым образом коррелирует с установлением физико-механических характеристик обрабатываемых материалов.

Установлено [10], что значение сопротивляемости зерна разрушению имеет переменный характер. Проведение опытов по воздействию нагрузок осуществлялось в трёх положениях зерновки (рис.1).

Эксперименты С.В. Мельникова на зерне ячменя продемонстрировали: критическое усилие разрушения в положении «спинка-бороздка» в среднем

соответствует 20,91 кгс, тогда как в положении «бочок-бочок» - 13,70 кгс, а также в положении «стоя» - 14,51 кгс.



Рисунок 1 – Расположение зерна при его сжатии

Результаты научного поиска (Н.В. Врасский и др.) выявили зависимость прочности зерна его влажности. Полученные данные в ходе проведения экспериментальных исследований показали следующую корреляцию: при статическом сжатии значение разрушающей нагрузки уменьшается с повышением показателя влажности (табл. 1).

Таблица 1 – Значение разрушающей силы при статическом сжатии, кгс

Сорта пшеницы	Влажность, %			
	11	12	13	14
Меянопус 69	14,6	13,5	13,0	12,4
Цезиум 111	13,3	13,2	12,7	12,7
Гордеиформе 189	12	11,8	11,7	10,8
Гостианум 237	10,8	10,3	10,2	10
Украинка 246	10	9,4	9,1	9,1
Лютесценс 62	9,9	8,7	8,1	8,1

Значительный вклад в решении изучения прочности сыпучих материалов внес С.Д. Птицын. Он выполнял опыты посредством падения груза массой в 200 гр., на исследуемый объект с разных высот (ударное воздействие на зерно). Показатель прочности зерна, рассмотренных сельскохозяйственных культур с увеличением влажности повышается до определенных значений, а затем наблюдается резкое уменьшение (рис. 2).

Кроме того, изучалось действие динамических нагрузок на объект исследования носящих циклический характер (а именно, В.М. Дринча). В качестве семенного материала был принят сорт пшеницы Харьковская 46. Показатель полевой всхожести семян значительно снижалась с увеличением количественного значения циклов нагружения (рис. 3).

Для значительного большинства материалов характерно, что воздействие ударных нагрузок путем повышения скорости нагружения на прочностные свойства улучшают эти показатели. С.В. Мельников в своих работах подтвердил этот факт. В частности, при значении скорости тождественной 26,1 м/с разрушению подвергается лишь 18 % ячменя, тогда как при 65,5 м/с – 65 %, а при 100 м/с – 100 %.

а при скоростях удара соответствующей 100-114 м/с имеет место быть гарантированному разрушению всех без исключения зерен. Определение динамических характеристик зерна носит затруднительный характер. Для облегчения расчётных формул на прочность была принята поправка, имеющая определение как коэффициент динамичности. По результатам реализованных экспериментальных исследований применительно к зерновым кормам  $k_d=1,6-2,0$ .

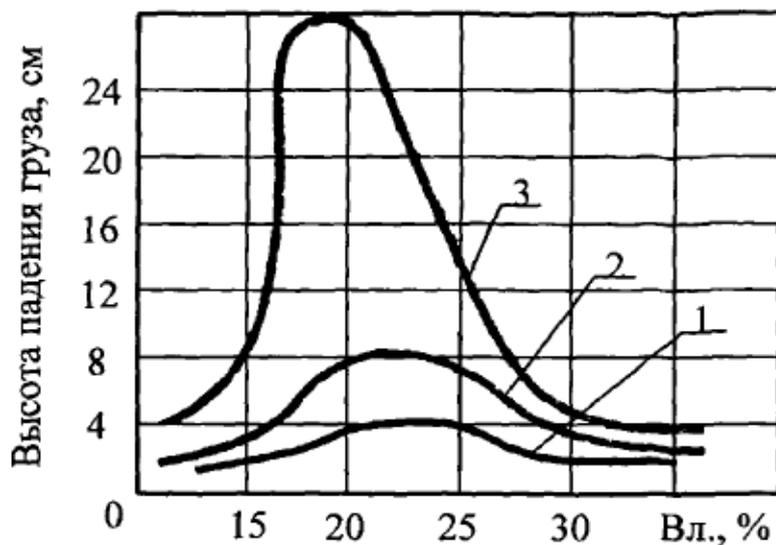


Рисунок 2 – Корреляция значения прочности зерна различной влажности с величиной ударной нагрузки; 1 – пшеница; 2 – рожь; 3 – горох

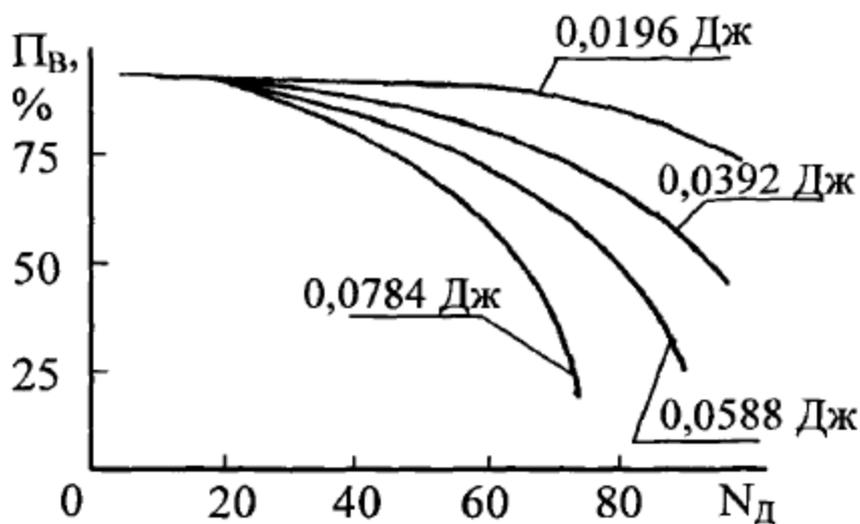


Рисунок 3 – Корреляция полевой всхожести  $P_v$  с числовым показателем циклов  $N_d$  нагружения

Существенный вклад в получение новых научных знаний в исследовании прочностных характеристик зерна под действием ударных нагрузок внес А.П. Тарасенко. В результате выполненного научного поиска было доказано: микротравмы оказывают отрицательное влияние на посевные качества зерна.

Увеличение значения скорости дробления до 40 м/с показатели как дробления, так и микротравмирования возрастают соответственно до 65 и 73 %, и к тому же наблюдается существенное снижение лабораторной всхожести семян примерно до 64 %.

Фактическое повышение показателя влажности семян ведет к тому, их дробление уменьшается, а микротравмирование не подвергается изменению и остаётся величиной постоянной. При этом в то время значение лабораторной всхожести сначала имеет тенденцию повышения, достигая максимума при 17 %, а затем идет на уменьшение.

Вывод. Выполненный обзор информации по исследованиям корреляции динамических, в том числе статических нагрузок с зерновым материалом и их анализ показывает, что показатель по прочности зерна зависит от большого количеством факторов. Основными из которых являются: величина приложенной силы; реальный уровень влажности; возделываемый вид и сорт сельскохозяйственной культуры; действительные геометрические размеры, регионы возделывания растений и т.д.

### *Библиографический список*

1. Алтухов, С.В. Анализ обеспеченности техникой сельскохозяйственных организаций Иркутской области / С.В. Алтухов, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов // Известия Международной академии аграрного образования. - 2022. - № 62. - С. 5-8.

2. Математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором / С.С. Ямпиллов, В.Б. Балданов, Б.Д. Цыдендоржиев, Ю.А. Сергеев // Вестник ВСГУТУ. - 2013. - № 5 (44). - С. 85-90.

3. Алтухова, Т. А. Обзор и анализ исследований охладителей зерна как основа для создания более совершенных машин / Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов // Аграрная наука. - 2018. - № 3. - С. 68-69.

4. Поляков, Г.Н. Модернизация сепаратора измельченного вороха зерновых колосовых культур / Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов // Пермский аграрный вестник. - 2019. - № 1 (25). - С. 4-9.

5. Исследование послеуборочной обработки зерна в условиях центральной Якутии / Г.Е. Кокиева, Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Кондакова, С.В. Хамарова // Научно-технический вестник Поволжья. - 2019. - № 5. - С. 27-29.

6. Сухаева, А.Р. Процесс охлаждения органических материалов в образуемых скоплениях / А.Р. Сухаева, С.Н. Шуханов, В.Д. Коваливнич // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2020. - № 3 (83). - С. 172-174.

7. Очистка семян ячменя от трудноотделимых примесей / А.А. Абидуев, А.С. Пехутов, М.Б. Балданов, А.Ю. Тогмидон // Дальневосточный аграрный вестник. - 2022. - Т. 16. № 3. - С. 74-80.

8. Исследования процесса разделения зернового материала в сепарирующем зернометателе / С.С. Ямпиров и др. // Вестник ВСГУТУ. - 2023. - № 2 (89). - С. 57-64.

9. Ступин, А.С. Травмирование семян зерновых культур при обмолоте и послеуборочной доработке / А.С. Ступин // Journal of Agriculture and Environment. - 2025. - № 4 (56).

10. Шуханов, С.Н. Совершенствование рабочего процесса зернометателей и зернопогрузчиков: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / С.Н. Шуханов - ГНУ "Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка". Москва, 2012.

11. Левин, В. И. Последствие стресс-факторов на прорастание и посевные качества семян зерновых культур / В. И. Левин, Л. А. Антипкина, А. С. Ступин // Вестник Курганской ГСХА. – 2023. – № 4(48). – С. 3-10.

12. Эффективность различных приемов предпосевной обработки семян в повышении продуктивности полевых культур / Н. И. Голубева, О. В. Лукьянова, М. С. Пивоварова, А. А. Соколов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 3(19). – С. 3-5.

13. Влияние гидродинамического давления вращающейся струи на загрязненную поверхность / А.В. Кирилин, О.А. Ваулина, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2017. – № 2(5). – С. 138-144.

14. Мелешков, С. И. Новые конструкции машин с горизонтально-роторными режущими аппаратами / С. И. Мелешков, В. А. Кончин // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года / Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова. – Курск, 2025. – С. 65-70.

**УДК631.53.027**

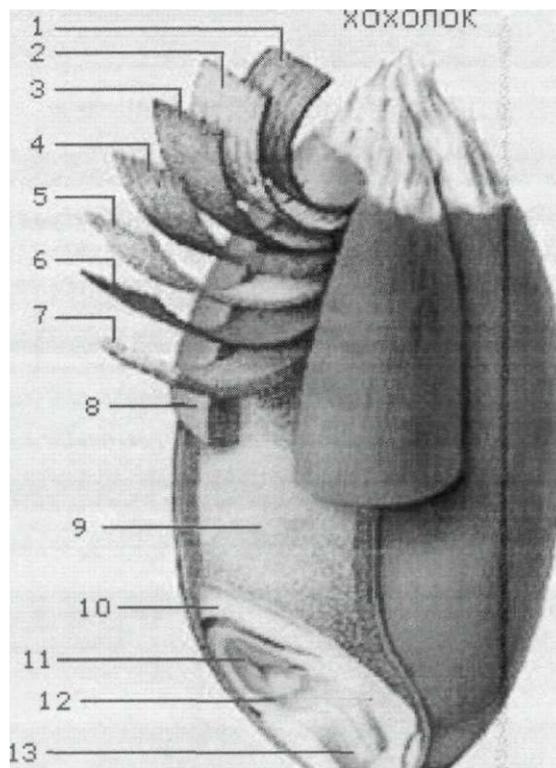
*Баранов В.А., магистрант 2 курса,  
Фатьянов С.О., к.т.н., доцент,  
Морозов А.С., к.т.н.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ  
Тетерин В.С., к.т.н.  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ», г. Москва, РФ*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН**

Урожайность зерновых культур, как и остальной продукции растениеводства зависит от многих факторов, в том числе и от качества

семенного материала [1]. Для повышения его всхожести необходимо проводить предпосевную подготовку, которая может быть разного характера. Известно множество методов предпосевной обработки. К ним относятся химические, как чаще всего применяемые и наиболее эффективные, механические, физические и их часть – электрофизические и другие [2]. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Протравливание зерна и дезинфекция емкостей, где оно хранится наиболее распространены, но оказывают отрицательное воздействие на экологию и в том числе здоровье человека. Механическим способом можно избавиться от насекомых, живущих в зерновой массе, пропуская зерно через центрифугу, так что насекомые ударяются о конструкции центрифуги и повреждаются [3]. Электрофизические методы весьма разнообразны. Это использование электронагрева с помощью ВЧ или СВЧ излучения, инфракрасного облучения, лазерного излучения, ультрафиолетового и ультразвукового воздействий. Простое вентилирование зерна подогретым воздухом имеет широкое распространение, но энергозатратно по сравнению с различными электрофизическими методами [4].

Одним из перспективных методов повышения всхожести семян можно считать использование инфракрасного (ИК) излучения. Применение ИК воздействия требует учета многих свойств зерна. Это строение зерна (рисунок 1), его размеры, сыпучесть, способность впитывать влагу, тепловые свойства, которые ограничивают тепловое воздействие из-за возможной гибели зерна [5].



- 1, 2, 3 - оболочки плодовые; 4, 5, 6 - оболочки семенные; 7 - алейроновый слой;  
 8 - слои клеток плодовой оболочки с поверхности; 9 - эндосперм;  
 10 - щиток; 11 - почечка; 12 - осевая часть зародыша; 13- корешок

Рисунок 1 – Строение зерна пшеницы

Максимальную температуру нагрева семян можно определить по известной формуле:

$$T_{\max} = T_{\text{в}} + A \frac{E_0}{\alpha F},$$

где  $T_{\max}$  - максимальная температура нагрева зерна;

$T_{\text{в}}$  - температура воздуха;

$\alpha$  - коэффициент теплопередачи;

$A$  – способность поверхности зерна поглощать излучение;

$E_0$  - энергетическая освещенность облучаемого зерна;

$F$  – площадь поверхности теплообмена между воздухом и зерном.

Установлено, что при температуре 60 °С и влажности 20 % наблюдается полная потеря всхожести.

В процессе ИК облучения зерна можно различить несколько этапов. На первом этапе генерируется ИК излучение в виде электромагнитных волн под воздействием протекающего тока через излучатель. На втором этапе эти волны передаются обрабатываемому материалу и на третьем этапе они превращаются в тепло внутри обрабатываемого тела [6]. В качестве излучателей используются коротковолновые излучатели ИКЗ и КГТ, выполненные на основе кварца, используются и импульсные керамические излучатели. В них излучение производится с помощью нихромовой спирали, которая находится в трубке из кварцевого стекла с керамическим покрытием [7]. В таких излучателях достигается высокая плотность излучения энергии в импульсе в пределах 120-350 Вт/см<sup>2</sup>.

Установка ИК излучения имеет преимущество в том, что при ее использовании относительно легко регулировать параметры облучения – мощность дозы и время воздействия, которые находятся в обратной зависимости: увеличение мощности дозы требует уменьшения времени воздействия и наоборот [8]. Для численного определения этих зависимостей необходимо иметь математическую модель процесса облучения. Математическая модель основывается на экспоненциальном законе нагрева зерна, полученном экспериментально:

$$\theta = \theta_{\max} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right),$$

где  $T$  – постоянная времени нагрева зерна;

$\theta_{\max}$  – максимально возможное значение температуры с учетом окружающей температуры, при котором зерно не теряет своей всхожести.

$\theta_{\max}$  определяется выражением :

$$\theta_{\max} = \frac{A_{\lambda} \eta P}{\alpha_{\kappa} F},$$

где  $\alpha_{\kappa}$  - коэффициент теплообмена с помощью конвекции,

$F$  – поверхность теплообмена,

$P$  – мощность излучения.

Получить оптимальные параметры облучения зерна, к которым относятся предельно допустимая плотность мощности облучения и скорость нагрева

обрабатываемого материала, можно в результате решения дифференциального уравнения теплового баланса:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_{max}}{T} e^{\frac{\tau}{T}} = \frac{\xi}{T} \cdot \frac{P}{F} \cdot e^{\frac{\tau}{T}},$$

где  $\xi = \frac{A\lambda\eta}{\alpha_k}$ .

Решение дифференциального уравнения позволит определить значение отношения P/F (плотность мощности) в виде его оптимальной величины, минимальной и максимальной, зависящими от соответствующего времени воздействия [9]. Эксперименты показали, что этим понятиям соответствуют значения 50 °С, 45 °С и 55 °С.

Учитывая эти значения температур можно вычислить дозы облучения:

$$H_{min} = \frac{t_{min} - t_0}{\xi'} \cdot \tau; H_{opt} = \frac{t_{min} - t_0}{\xi'} \cdot \tau; H_{max} = \frac{t_{max} - t_0}{\xi'} \cdot \tau,$$

где  $\xi' = \xi / K_f$  – показатель, отражающий взаимодействие между облучающим потоком и материалом,  $K_f$  – коэффициент использования излучающего потока.

На показатель всхожести семян в большей степени влияет скорость нагрева семян, а не предельная температура [10]. В соответствии с этим можно получить значения этих скоростей:

$$\vartheta_{min} = \frac{t_{min}}{T}; \vartheta_{min} = \frac{t_{min}}{T}; \vartheta_{min} = \frac{t_{min}}{T},$$

где T – постоянная времени нагрева единицы зерна, которая определяется отношением теплоемкости зерна к его теплоотдаче.

Теплофизические показатели зерна зависят от его влажности в соответствии с выражением [9]:

$$C = 0,01 \cdot [c_0(100-w) + c_w w],$$

где  $c_0$  – удельная теплоемкость семян;

$c_w$  – удельная теплоемкость воды, содержащейся в зерне;

w - влажность семян.

В целом на зерно оказывают свое воздействие электромагнитное поле, световое и тепловое совместно.

### ***Библиографический список***

1. Чураков, Е. П. О Марковском подходе к задаче интерпретации результатов косвенных экспериментов / Е. П. Чураков, С. О. Фатьянов // Перспективные методы планирования и анализа экспериментов при

исследовании случайных полей и процессов, Гродно, 27–29 сентября 1988 года. Том Часть 2. – Гродно: Московский энергетический институт, 1988. – С. 38-39.

2. Цифровые технологии в ботанике / О. А. Захарова, Е. И. Машкова, В. В. Романов, С. О. Фатьянов // Цифровизация отраслей АПК и аграрного образования : Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 20 января 2022 года. – Москва: ФГБОУ ДПО "Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса", 2022. – С. 401-405.

3. Фатьянов, С. О. Повышение эффективности источников питания радиотехнических устройств с использованием фотоэлектрических преобразователей / С. О. Фатьянов, Н. Г. Кипарисов // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 361-363.

4. Анализ средств оптического облучения рассады овощей в теплице / А. Д. Прошлякова, С. О. Фатьянов, А. С. Морозов, Н. Е. Лузгин // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора А.А. Сорокина, Рязань, 24 января 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 129-135.

5. Алгоритмы работы частотно-регулируемых приводов и их электромагнитная совместимость в электроприводе насосов / С. О. Фатьянов, А. С. Морозов, И. И. Садовая, А. О. Острогова // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 422-427.

6. Пустовалов, А. П. Исследование энергоэффективности способов запуска асинхронных электродвигателей / А. П. Пустовалов, С. О. Фатьянов, А. С. Морозов // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В., Рязань, 06–09 декабря 2018 года. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 191-194.

7. Фатьянов, С. О. Снижение пиковых токов ёмкостных фильтров в выпрямителях переменного тока / С. О. Фатьянов, Н. Г. Кипарисов, П. Е. Кожин // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 357-360.

8. Кулашкин, С. В. Анализ существующих систем вентиляции в животноводческих помещениях / С. В. Кулашкин, С. О. Фатьянов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2017. – № 1(4). – С. 62-67.

9. Модернизация цифровой систем защиты от аварийных режимов работы оборудования трансформаторных подстанций агропромышленных предприятий

/ С. О. Фатьянов, М. В. Поляков, Н. Е. Лузгин, А. Ю. Смирнов // Инновационные технологии: опыт, проблемы, перспективы развития, Тверь, 25 октября 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 444-446.

10. Морозов, А. С. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в медицине / А. С. Морозов, И. И. Садовая, С. О. Фатьянов // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний : Материалы всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 09–10 ноября 2017 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2017. – С. 16-18.

11. Инновационные элементы агротехнологий возделывания картофеля в Нечерноземной зоне России / М. М. Крючков [и др.]. – Рязань: РГАТУ, 2018. – 181 с.

12. Патент на полезную модель № 208372 U1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для стимулирования семян к прорастанию : № 2021123277 : заявл. 02.08.2021 : опубл. 15.12.2021 / Д. В. Виноградов, Е. И. Лупова, В. А. Грязин [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

13. Совершенствование предпосадочной подготовки семенного картофеля с помощью автоматизированных расчетов / Д.В. Колошеин, А.А. Назарова, А.С. Попов, Е.А. Лазарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 209. - С. 554-562.

14. Повышение энергоэффективности облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Д. В. Сусов, А. А. Тельнова, Ю. А. Рубина // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 136-142.

15. Антипкина, Л. А. Влияние градиентного магнитного поля на продуктивность кормовой свеклы / Л. А. Антипкина, В. И. Левин // Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки : Материалы 74-й международной научно-практической конференции, Рязань, 20 апреля 2023 года / МСХ РФ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Том Часть I. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 13-17.

16. Экономика зернового комплекса: перспективные направления развития / С.А. Кистанова [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: Материалы VIII Международной науч.-практ. конф. – Рязань: РГАТУ, 2024. - С. 120-126.

17. Мелешков, С. И. Совершенствование режущего аппарата роторной косилки / С. И. Мелешков, В. А. Кончин // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : Сборник научных статей 5-й Международной научно-технической конференции, Курск, 03 октября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 120-122.

## **МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ И ОЦЕНКИ РЕСУРСА МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ НА УСТАЛОСТНУЮ КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

В современном ремонтном производстве проблема восстановления изношенных деталей автотракторной и мобильной сельскохозяйственной техники является одной из актуальных задач. Одним из ключевых аспектов этого процесса является обеспечение соответствующей усталостной контактной прочности металлопокрытий при восстановлении деталей различными способами и достижения ими заданных значений ресурса, при котором сохраняются рабочие характеристики и эксплуатационные свойства [1, 2].

При анализе конструктивно-технологических особенностей деталей автотракторной и мобильной сельскохозяйственной техники, подвергающихся в процессе работы воздействию контактных нагрузок, было установлено, что более 80 % из них изготовлены из низкоуглеродистых малолегированных сталей и подвергнуты упрочнению цементацией или нитроцементацией до твердости 60...62HRC; менее 20 % деталей выполнены из среднеуглеродистых сталей и закалены с нагревом ТВЧ [3,4].

Характерным повреждением поверхностей этих деталей в процессе работы являются раковины (питтинги).

Среднее значение износа для большинства таких деталей не превышает 0,1...0,2 мм, поэтому возникает возможность восстановления их износостойкими металлопокрытиями и, в частности, гальваническим и газофазным [5, 6]. Критерием оценки металлопокрытий при выборе их для восстановления деталей, подвергающихся циклическим контактными нагрузкам, является величина усталостной контактной прочности [7].

Для объективной оценки усталостной контактной прочности металлопокрытий применяются разнообразные методы испытаний, каждый из которых направлен на моделирование реальных условий эксплуатации [8, 9].

До настоящего времени нет единой методики определения металлопокрытий на усталостную контактную прочность и промышленность страны не выпускает машины для таких исследований.

Изучение контактных явлений на натуральных деталях сложно, а иногда и невозможно. Для этой цели используют лабораторные установки. В большинстве случаев для оценки и изучения сопротивляемости материалов контактной усталости, заеданию, изнашиванию используют роликовые установки, где в качестве образца применяется ролик; это приемлемо для контактируемых цилиндрических поверхностей [10].

Наиболее полное изучение контактных явлений в конкретных парах

возможно при моделировании условий ее работы. Моделирование предопределяет: сохранение закона движения контактируемых поверхностей, необходимую среду и соблюдение критерия подобия, представленного в виде выражения:

$$l_1 \cdot d_{np1} = l_2 \cdot d_{np2} = const, \quad (1)$$

где  $l_1, l_2$  – рабочая ширина роликов, мм;  
 $d_{np1}, d_{np2}$  – приведенный диаметр пары контактируемых деталей и роликов установки.

С целью изучения изменения величины усталостной контактной прочности металлопокрытий предлагается разработать методику и изготовить четырехроликовую трехконтактную конструкцию лабораторной установки, которая позволяет с достаточной точностью моделировать условия работы пары. В отличие от существующих экспериментальных четырехроликовых трехконтактных машин на предлагаемой модели можно проводить комплексные испытания металлопокрытий на усталостную прочность, на изнашивание; исследование трения в контакте смазанных поверхностей, исследование смазывающих свойств масел в условиях контактирования.

Предел контактной усталости при выкрашивании определяется как величина напряжения, отмечающая границу двух зон – усталости и выносливости, и определяется по формуле Герца-Беляева:

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{2QE}{l \cdot d_{np}}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_k$  – предел контактной усталостной прочности материала, МПа;  
 $Q$  – нагрузка на ролик, Н;  
 $E$  – удвоенный приведенный модуль упругости материала ролика, МПа.

Испытуемый лабораторный образец Ø22 мм изготавливается из стали 20Х, цементируется на глубину 0,8...1,2 мм и закаляется до 60...62 HRC. На данный образец наносится металлопокрытие толщиной  $h = 0,1...0,2$  мм, чистота поверхности после механической обработки ролика соответствует 8 качеству. Контртела Ø90 мм изготавливаются из стали ШХ15, закаленной до 65HRC, чистота поверхности по 10 качеству. База испытаний —  $5 \cdot 10^6$  циклов. Перед исследованиями необходимо приработать испытываемые образцы при следующих режимах  $\sigma_k = 80,0...90,0$  МПа, суммарная скорость качения  $V_{\Sigma} = 4$  м/с.

Оценка ресурса металлопокрытий представляет собой многоэтапный процесс, включающий анализ результатов испытаний на усталость, контактную усталость и износостойкость. На основе полученных данных разрабатываются математические модели и эмпирические зависимости, позволяющие

прогнозировать долговечность покрытия в реальных условиях эксплуатации. Особое внимание уделяется учету специфических факторов, таких как вибрационные нагрузки, ударные воздействия и температурные режимы, характерные для автотракторной и мобильной сельскохозяйственной техники.

Исходной информацией для изучения ресурса по усталостной прочности ремонтируемой детали является статистическая выборка, состоящая из определенного количества деталей одного наименования различных ремонтных размеров. Анализ деталей каждого ремонтного размера показывает, что часть из них разрушилась от усталости, а часть годится для дальнейшего ремонта и эксплуатации. Получается типичная задача об оценке ресурса по многократно усеченной выборке, которая в принципе решается методом максимума правдоподобия или другим известным методом.

Чтобы воспользоваться этими методами оценки ресурсов ремонтируемого объекта, необходимо знать наработку каждой детали в момент ее рассмотрения. Предполагается, что средние ресурсы деталей как в доремонтном  $t_0$ , так и последующих межремонтных периодах —  $t_{mpi}$  ( $i=1, 2, \dots$ ) известны. Кроме того, известны из эксперимента вероятности перехода деталей на последующий ремонтный размер  $P_i$ , через один ремонтный размер  $P_1$ , через два  $P_2$  и т. д. Допускаем, что вероятности перехода детали с одного ремонтного размера на последующие не зависят от ее исходного размера, то есть одинаковы как для деталей, пришедших на первый ремонт, так и на последующие ремонты. Тогда в отношении деталей, попавших на ремонт под  $K$ -й ремонтный размер, можно сказать, что их средняя наработка от начала эксплуатации до следующего ремонта составит:

$$\bar{t}_H = \bar{t}_0 + \bar{t}_{mpk} + \sum_{i=1}^{k-1} Q_i \cdot t_{mpi}, \quad (3)$$

где  $Q_i$  – вероятность попадания деталей в  $i$ -й межремонтный период при условии, что они не разрушились от усталости,  $Q_k=1$ .

Вероятности  $Q_i$  можно определить по следующей рекуррентной формуле:

$$Q_i = Q_{i-1} P_1 + Q_{i-2} P_2 + \dots + Q_{i-k} P_k, \quad (4)$$

где  $P$  – вероятности перехода детали с одного ремонтного размера на последующие.

$$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_k = 1, \quad (5)$$

Также справедливо выражение  $Q_0=1$ .

Формулы (3) и (4) позволяют установить связь, между наработкой детали и ее ремонтными размерами — предполагается, что отсутствует корреляция между наработками детали в различных ремонтных периодах эксплуатации.

Пусть ресурс распределен по закону Вейбулла-Гнеденко с параметрами

формы  $m$  и масштаба  $a$ , тогда последние могут быть найдены по формулам:

$$m = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \bar{t}_j^{-m} \ln \bar{t}_j}{\sum_{i=1}^n \bar{t}_j^{-m}} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \ln \bar{t}_j \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$a = \left[ \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \bar{t}_j^{-m} \right]^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

где  $n$  – общее число обследованных деталей, шт.;

$r$  – число деталей, разрушенных от усталостных напряжений, шт.;

$t_j$  – средние наработки деталей, в том числе и разрушенных вследствие усталости, ед. наработки.

При этом распределение ресурса ремонтируемой детали принимает вид по экспоненциальному закону распределения:

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{a} \right)^m \right]. \quad (8)$$

Методы испытания и оценки ресурса металлопокрытий являются важным инструментом для обеспечения надёжности и долговечности деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники. Они позволяют определить оптимальные материалы и покрытия, разработать эффективные технологии восстановления деталей и контролировать качество покрытий и оценки срока службы деталей.

### ***Библиографический список***

1. Беляев, В. Н. Оценка опасности трещин на шейках коленчатых валов автотракторных двигателей / В. Н. Беляев, А. В. Старунский // Юбилейный сборник научных трудов сотрудников и аспирантов РГСХА: 50-летию академии посвящается. Том 1. – Рязань: РГСХА, 1999. – С. 223-227.

2. Старунский, А. В. Применение метода микротвердости к исследованию рабочей поверхности вкладышей подшипников скольжения автотракторных двигателей / А. В. Старунский, Г. А. Борисов, Э. А. Широкова // Совершенствование средств механизации в сельскохозяйственном производстве, Киров, 31 января 2000 года. – Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2000.

3. Старунский, А. В. Повышение долговечности алюминиево-оловянистых вкладышей подшипников скольжения автотракторных двигателей

методом газофазной металлизации / А. В. Старунский, Г. А. Борисов // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева. – Рязань: РГСХА, 2001. – С. 313-315.

4. Беляев, В. Н. Контроль углового расположения шатунных шеек коленчатых валов двигателей ЯМЗ-240 / В. Н. Беляев, А. В. Старунский // Энегросберегающие технологии использования и ремонта машинно-тракторного парка: Сборник материалов научно-практической конференции инженерного факультета. Посвящается 50-летию кафедр "Эксплуатация машинно-тракторного парка" и "Технология металлов и ремонт машин", Рязань, 31 января 2004 года. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 2004. – С. 78-80.

5. Технологические напряжения, возникающие в многослойном вкладыше подшипника скольжения коленчатого вала автотракторных ДВС / А. В. Старунский, Г. А. Борисов, А. И. Ковчик, А. Д. Чернышев // Технология металлов. – 2013. – № 5. – С. 41-44.

6. Технология введения упрочняющих добавок газофазным методом из карбониллов никеля и железа в антифрикционное покрытие подшипников скольжения автотракторных ДВС / Г. А. Борисов, А. В. Старунский, А. И. Ковчик, А. Д. Чернышев // Технология металлов. – 2013. – № 5. – С. 32-34.

7. Старунский, А. В. Перспективы применения в ремонтном производстве антифрикционных покрытий, полученных методом парофазной металлизации в вакууме / А. В. Старунский, Г. А. Борисов, Н. В. Бышов // Современная наука глазами молодых ученых: достижения, проблемы, перспективы: Материалы межвузовской научно-практической конференции, Рязань, 27 марта 2014 года. Том 1. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 108-111.

8. Борисов, Г. А. Технологические основы повышения ресурса многослойных антифрикционных покрытий подшипников скольжения методом парофазной металлизации в вакууме / Г. А. Борисов, А. В. Старунский // Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона: Материалы 66-й международной научно-практической конференции, Рязань, 14 мая 2015 года. Том II. – Рязань: РГАТУ, 2015. – С. 57-60.

9. Борисов, Г. А. Теоретическое обоснование термодинамической возможности получения антифрикционных покрытий подшипников скольжения методом химической парофазной металлизации / Г. А. Борисов, А. В. Старунский // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: Материалы национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 41-45.

10. Симдянкин, А. А. Результаты триботехнических испытаний образцов на машине трения СМТ-1М при обработке смазочного масла ультразвуком / А. А. Симдянкин, А. В. Старунский // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 октября 2015 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 68-76.

11. Economic evaluation of recovery of parts of foreign equipment by gas-dynamic spraying / S. Strebkov, A. Turyanskiy, A. Bondarev, A. Slobodyuk // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23–25 мая 2018 года. Vol. 17. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 1336-1345.

12. Евсенина, М.В. Рыночная стоимость основных фондов автотранспортного предприятия / М.В. Евсенина, Л.В. Черкашина // Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее. - Курск. - 2020. - С. 102-106.

13. Терентьев, В.В. Пистолет-распылитель для двухкомпонентной консервации сельскохозяйственных машин/ В.В. Терентьев, М.Б. Латышенок, А.С. Попов // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Материалы научных трудов. Рязань, Том Выпуск 3, Часть 1. - Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 1999. - С. 92-93.

14. Кончин, В. А. Исследование износостойкости восстановленных и упроченных стрелчатых лап культиватора / В. А. Кончин // Современные материалы, техника и технологии. – 2024. – № 1(52). – С. 50-55.

15. Основные причины выхода из строя деталей сельскохозяйственной техники / О. В. Филюшин [и др.] // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Бычкова Валерия Васильевича, Рязань, 20 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 75-82.

**УДК 504.064.47**

*Зенин Н.А., студент 3 курса,  
Научный руководитель: Мишина Т.О.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

### **ПУШКА ФРОЛОВА**

«Пушка Фролова» — это технология, которую разработали сотрудники Института химической физики. Рассматриваемая конструкция может утилизировать отходы без выбросов в атмосферу и захоронений. В основе метода лежит контролируемое высокотемпературное разложение органических отходов под высоким давлением в герметичном реакторе. Этот процесс преобразует сложные органические молекулы в более простые, стабильные и экологически безопасные соединения, такие как: синтез-газ, твердый остаток, пригодный для дальнейшей переработки.

Самое основное преимущество Пушки Фролова – отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Все процессы протекают в замкнутой системе, этот факт исключает попадание токсичных веществ и парниковых газов в окружающую

среду. Помимо, технология позволяет избежать захоронения отходов, сокращая нагрузку на полигоны и предотвращая загрязнение почвы и грунтовых вод [1].

Получаемый синтез-газ может быть использован в качестве топлива для производства электроэнергии или тепла, что делает технологию не только экологически чистой, но и энергоэффективной. Твердый остаток, после дополнительной обработки, может быть использован в строительстве или других отраслях промышленности. Пушка Фролова представляет собой комплексное решение проблемы утилизации отходов, сочетающее в себе экологическую безопасность, энергоэффективность и экономическую целесообразность. Её внедрение может максимально снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду и способствовать переходу к безотходному производству.

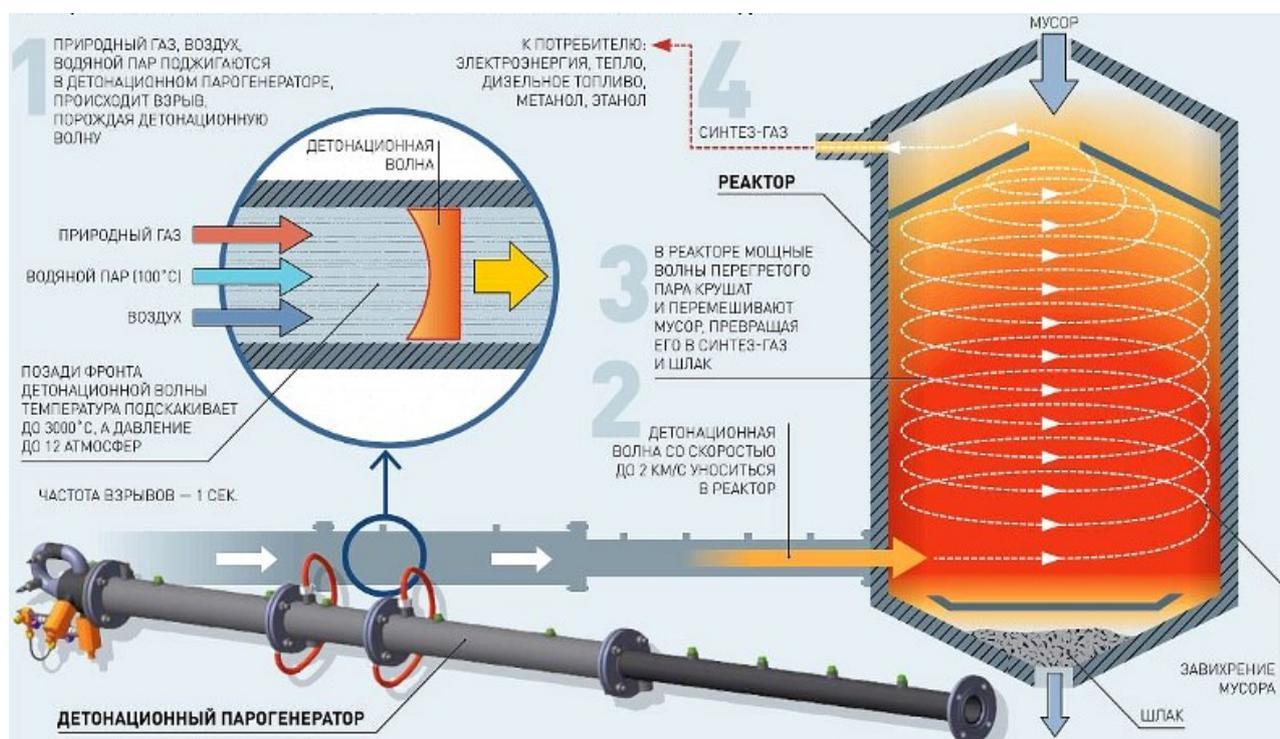


Рисунок 1 – Схема работы Пушки Фролова

Пушка Фролова не простой механизм, а сложная технологическая система. Сердце системы – герметичный реактор. Его конструкция выдерживает высокие температуры и колоссальное давление, которое требуется для эффективного разложения органических отходов.

Реактор – это многослойный сосуд, он собран из жаропрочных и коррозионностойких сплавов. Его внутренняя оболочка контактирует непосредственно с отходами и продуктами реакции, поэтому к ней предъявляются особые требования по устойчивости к агрессивным средам.

Система подачи и подготовки сырья обеспечивает дозированное поступление отходов в реактор. Здесь происходит предварительная сортировка, измельчение и смешивание различных видов отходов для оптимизации процесса разложения.

Система нагрева и поддержания температуры играет ключевую роль в управлении процессом. Она обеспечивает равномерный нагрев реактора до заданной температуры, что необходимо для эффективного разложения органических молекул [2].

Система контроля и управления отслеживает параметры процесса в режиме реального времени и автоматически регулирует их для поддержания оптимальных условий. Это позволяет добиться максимальной эффективности и безопасности процесса.

Система очистки и разделения продуктов реакции выделяет синтез-газ и твердый остаток. Синтез-газ направляется на дальнейшую переработку для получения энергии или полезных химических продуктов.

Система удаления отходов от процесса гарантирует отсутствие вредных выбросов в атмосферу и обеспечивает экологическую безопасность технологии. Все отходы подвергаются дополнительной обработке и утилизации в соответствии с строгими экологическими стандартами.

Вопрос о стоимости Пушки Фролова - как в плане первоначальных инвестиций, так и в части эксплуатационных расходов - требует комплексного рассмотрения, учитывая уникальность и инновационный характер технологии.

Первоначальная цена установки, безусловно, значительна. Разработка и строительство герметичных реакторов, способных выдерживать экстремальные температуры и давление, требует применения высококачественных материалов и передовых технологий. Стоимость возрастает за счет необходимости индивидуальной адаптации системы к конкретным видам отходов и объемам переработки. Также значительную часть затрат составляют системы контроля, управления и очистки, призванные обеспечить экологическую безопасность и высокую эффективность процесса.

Эксплуатационные расходы также не стоит недооценивать. Высокотемпературный процесс требует значительных энергозатрат. Однако, возможность использования полученного синтез-газа для производства электроэнергии частично компенсирует эти расходы. Техническое обслуживание специализированного оборудования, такого как реакторы и системы очистки, требует квалифицированного персонала и регулярных проверок для обеспечения надежной и безопасной работы [3].

Тем не менее, важно рассматривать Пушки Фролова не только как источник затрат, но и как инвестицию в устойчивое будущее. Снижение экологического ущерба, возможность получения энергии из отходов и сокращение объемов захоронений делают эту технологию привлекательной в долгосрочной перспективе. Растущие требования к экологической безопасности и ужесточение законодательства об отходах также могут существенно повысить экономическую привлекательность Пушки Фролова.

Срок службы реактора, сердца установки, напрямую зависит от качества используемых жаропрочных сплавов и строгого соблюдения регламента технического обслуживания. Регулярные проверки на наличие микротрещин и дефектов, своевременная замена изношенных элементов - залог бесперебойной

работы и экономической целесообразности. При условии грамотной эксплуатации, реактор может прослужить десятилетия.

Однако, помимо физической долговечности, важна и функциональная актуальность. Развитие альтернативных технологий, совершенствование каталитических процессов, появление новых способов утилизации отходов – всё это может повлиять на конкурентоспособность «Пушки Фролова». Постоянная модернизация, адаптация к новым видам отходов, повышение энергоэффективности – ключевые факторы продления срока службы технологии в целом.

Говоря о сроке годности Пушки Фролова, следует рассматривать его как совокупность физической износостойкости оборудования и динамического потенциала для технологического совершенствования. Это не статичная величина, а величина, зависящая от множества факторов и требующая постоянного внимания и инноваций.

Концепция Пушки Фролова, трансформированная из идеи утилизации бытовых и промышленных отходов в безуглеродный процесс, находит всё большее применение в агропромышленном секторе. Перспектива радикального сокращения объема сельскохозяйственных отходов и превращения их в ценные ресурсы открывает новые горизонты для устойчивого развития сельского хозяйства.

В контексте сбора урожая и переработки сельскохозяйственной продукции Пушка Фролова становится ключевым элементом замкнутого цикла [4]. Отходы растениеводства, такие как ботва, стебли, солома, а также органические отходы животноводства, могут быть безопасно и эффективно переработаны в синтез-газ, который, в свою очередь, может быть использован для производства электроэнергии и тепла, необходимых для обеспечения работы сельхозпредприятий.

Более того, технология позволяет получать из переработанных отходов ценные микроэлементы и минеральные удобрения, которые могут быть возвращены в почву для повышения её плодородия и урожайности. Это создает экономически выгодный и экологически чистый цикл: отходы превращаются в ресурсы, сокращается потребность в химических удобрениях, снижается негативное воздействие на окружающую среду.

Внедрение «Пушки Фролова» в сельскохозяйственную практику требует тщательного анализа и адаптации к конкретным условиям каждого хозяйства. Однако, потенциал этой технологии огромен, и она способна кардинально изменить подход к утилизации отходов в сельском хозяйстве, сделав его более устойчивым, эффективным и дружественным к окружающей среде.

Таким образом, внедрение инновационной установки в сельскохозяйственную отрасль открывает целый спектр преимуществ, преобразуя традиционное понимание утилизации отходов и предлагая устойчивые и эффективные решения. Прежде всего, это существенное сокращение объемов органических отходов - будь то растительные остатки после сбора урожая или продукты жизнедеятельности животноводства [5]. Вместо складирования и последующего гниения, приводящего к выбросам

парниковых газов и загрязнению почвы, эти отходы эффективно перерабатываются в ценные ресурсы.

Одним из ключевых достоинств является получение синтез-газа, который может быть использован для производства электроэнергии и тепла, обеспечивая энергетическую независимость сельскохозяйственных предприятий. Это позволяет снизить зависимость от внешних источников энергии и сократить затраты на оплату коммунальных услуг, что особенно актуально для отдаленных фермерских хозяйств.

Кроме того, в процессе переработки образуется зольный остаток, богатый минеральными веществами. После дополнительной обработки он может быть использован в качестве высокоэффективного органического удобрения, возвращая в почву необходимые питательные вещества и повышая её плодородие. Таким образом, реализуется принцип замкнутого цикла: отходы превращаются в удобрения, способствуя увеличению урожайности и снижению использования химических препаратов.

Наконец, немаловажным аспектом является значительное улучшение экологической обстановки. Пушка Фролова позволяет избежать неконтролируемых выбросов вредных веществ в атмосферу и почву, что способствует сохранению биоразнообразия и созданию благоприятных условий для жизни людей и животных. Это, в свою очередь, повышает социально-экономическую привлекательность сельских территорий и способствует устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

### *Библиографический список*

1. Другов, Д.И. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Д.И. Другов. - М.: Бином, 2021. - 424с.
2. Мамин, Р.Г. Инновационные механизмы управления отходами / Р.Г. Мамин. - М.: МГСУ, 2023. - 530с.
3. Пономарев, М. В. Комментарий к Федеральному закону "Об отходах производства и потребления": монография / М.В. Пономарев, Н.В. Кичигин, Н.А. Енисейская. - М.: Деловой двор, 2024. - 232с.
4. Шелудяков, Л. Н. Комплексная переработка силикатных отходов / Л.Н. Шелудяков, Э.А. Косьянов, Ю.А. Марконренков. - М.: Наука, 2020. - 172с.
5. Безопасное обращение с отходами. Сборник нормативно-методических документов. - М.: Компания "Интеграл", 2021. - 652с.
6. Экологические проблемы почвоведения и земледелия / И. В. Дудкин [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 4. С. 72-77.
7. Ерофеева, Т. В. Сельскохозяйственная экология : Учебное пособие / Т. В. Ерофеева, Г. Н. Фадькин, В. В. Чурилова. – Рязань : РГАТУ, 2022. – 181 с.

*Каширин Д.Е., д.т.н., профессор,  
Елисеев И.О.,  
Бычков А.В.,  
Лисина Н.А.,  
Роженцева Е.А.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

В основе сушки зерна лежат фундаментальные законы физики. Это закономерности переноса тепла и влаги внутри самой зерновки.

При сушке зерна, взаимодействие с ним может происходить по-разному. Можно обдувать его горячим воздухом или другим теплоносителем. Можно греть его, заставляя соприкасаться с горячими поверхностями. А можно использовать и более продвинутые методы – облучение. Например, инфракрасными лучами или электромагнитными волнами. И во всех этих случаях ключевым моментом является то, что вода внутри зерна должна перейти из жидкого состояния в пар. То есть, происходит фазовое превращение.

Сушка – это не просто физика в чистом виде. Это технология. Потому что важно не просто выпарить воду, а сделать это правильно. И то, как будет идти процесс, во многом зависит от того, как именно влага «держится» внутри зерновки, то есть от формы ее связи с материалом [1, с. 691].

Если совсем упростить, то весь этот сложный механизм можно свести к трем ключевым вещам. Первое – влага должна переместиться из центра зерна к его поверхности. Второе – на поверхности она должна испариться. И третье – этот пар должен уйти с поверхности зерна в окружающий воздух, в наш теплоноситель [2, с. 183].

При взаимодействии с зерно неизбежно меняются его параметры, такие как температура и влажность. И меняются они неравномерно. Внутри зерновки возникают градиенты. То есть, перепады. Около поверхности зерно уже горячее и суше, а в центре – еще холодное и влажное. И вот под действием этих перепадов влага и тепло начинают двигаться. Перепад температуры и влажности внутри маленького объекта – это внутреннее напряжение [3, с. 198].

Данные процессы можно увидеть наглядно. Они изображены на рисунке №1 [4, с. 681].

Зерновка подвергается воздействию теплоносителя, а именно горячего воздуха. Он передает ей тепло, поверхность зерновки нагревается, и самая доступная влага, та, что у поверхности, начинает испаряться. Из-за этого внутри и создаются перепады. Влага из глубины начинает подтягиваться к поверхности, там испаряется, и этот цикл продолжается. Молекулы пара уходят в воздух. Но этот процесс будет идти только при одном обязательном условии: давление пара у самой поверхности зерна должно быть выше, чем давление

пара в окружающем воздухе. Если этого нет – сушка останавливается [5, с. 102].

На самом деле, влага испаряется не с самой поверхности. Эта зона испарения, она находится чуть глубже, в периферийной части. Вот, рисунке это зона 3 [6, с. 95]. Она не стоит на месте, а по мере высыхания зерна постепенно перемещается вглубь. Многие считают, что это углубление начинается, когда мы уже удалили всю свободную влагу и взялись за связанную.

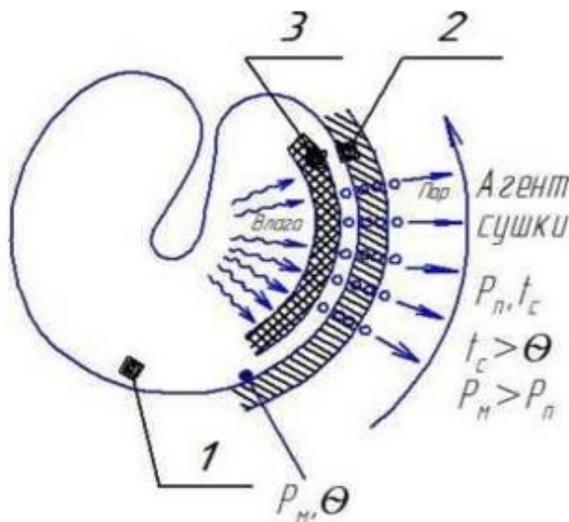


Рисунок 1 – Схема механизма удаления влаги при сушке зерна:  
1 – зерновка; 2 – пограничный слой; 3 – зона испарения

В действительности сама оболочка, поверхность, остается сухой и обезвоженной. Она лишается своего защитного фактора – испаряющейся влаги, которая ее охлаждала, из-за чего возникает риск перегрева поверхности зерна [7, с. 134].

При попытке увеличения скорости сушки, напряжения, о которых говорилось ранее, увеличиваются. И чем интенсивнее сушка, тем выше риск, что зерно потрескается, расколется. А это – прямое ухудшение качества, снижение выхода той же крупы и так далее. Поэтому наша задача, найти оптимальный режим сушки [8, с. 87].

Отталкиваясь от этой теории, был поставлен эксперимент. Суть эксперимента в следующем – посмотреть, как на сушку влияет изменение частоты электромагнитного поля. Цель была простая – построить кривые сушки, посмотреть, как она идет при разных начальных условиях. Менялась начальная влажность зерна и частота генератора [9, с. 143].

Даже при очень высокой начальной влажности, весь процесс сушки идет с постоянно падающей скоростью. То есть, сначала влага уходит быстро, а потом испарение влаги замедляется. При этом температура зерна постоянно растет. Это хорошо видно на графиках, изображённом на рисунке 2.

Собственно, основной задачей было разобраться, есть ли какая-то связь между частотой приложенного поля и так называемым коэффициентом потерь. Для эксперимента было использовано зерно с довольно стандартной для

хранения влажностью-около 12 %-и подвергли его воздействию СВЧ-излучения.

Все полученные в ходе замеров данные мы свели и обработали в обычном Excel. И вот что интересно: первое, на что стоит обратить внимание- это коэффициент конкордации. Он получился 0,986. Это очень высокий показатель. Такая цифра говорит о том, что мы имеем дело не с какой-то случайностью, а с весьма строгой, почти что закономерной связью [10, с. 107].

Если говорить проще, то всё сводится к следующему: чем выше поднимать частоту, тем эффективнее выпаривается влага. То есть на испарение одной и той же условной капли воды из зерна уходит меньше энергии. Если же взглянуть непосредственно на график этой зависимости, то там всё наглядно: кривая довольно плавно идёт на спад на всём исследованном нами участке от 0 до 120 МГц. А она выходит на такую выравнивается, асимптотически приближается к уровню 0,6 и дальше практически не меняется. То есть, поднимать частоту выше определенного предела уже бессмысленно – экономии энергии мы не получим.

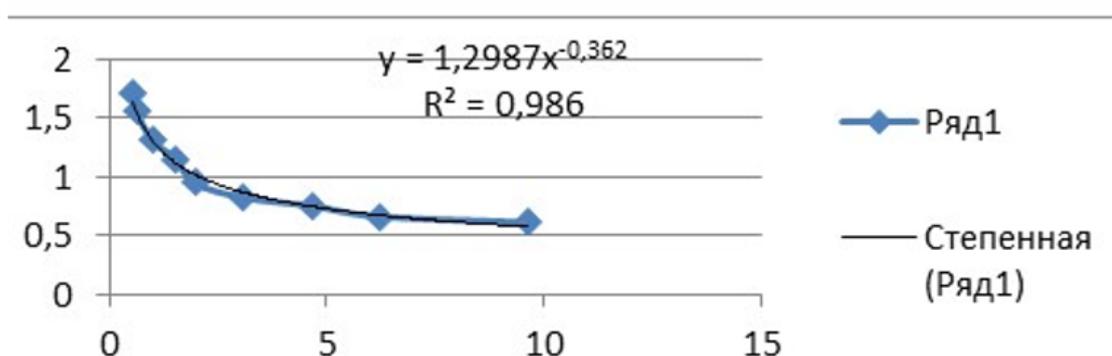


Рисунок 2 – Зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах

Наряду с существующими технологиями сушки имеются альтернативные технологии. В качестве альтернативы традиционным газовым сушилкам можно рассматривать обработку высокочастотным электромагнитным полем. У такого подхода есть как минимум два весомых плюса. Первоочередной, и, пожалуй, самый очевидный-вопрос экологии. В отличие от газовых установок, выбрасывающих в воздух продукты сгорания, данный метод абсолютно чист. Говоря проще: нет процесса горения-нет и вредных выбросов в атмосферу. Получается экологически безопасная технология. А во-вторых, зерно прогревается изнутри. В традиционных методах в первую очередь нагревается поверхность. А СВЧ-поле воздействует прямо на молекулы воды внутри зерновки. Более того, чем влажнее зерно, тем выше КПД процесса.

### *Библиографический список*

1. Экспериментальная установка для цифровой DLTS-спектроскопии / В. В. Павлов, Д. Е. Каширин, А. В. Шемякин, С. Н. Борычев // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : материалы XXII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 06–07 декабря 2023 года. – Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2023. – С. 689-694.
2. Анализ оборудования и технологий, применяемых для диагностики полупроводников по методу DLTS-спектроскопии / В. В. Павлов, Д. Е. Каширин, А. В. Шемякин, С. Н. Борычев // Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах : Материалы Международной научно-практической конференции, Балашиха, 14 ноября 2023 года. – Балашиха: Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского, 2023. – С. 180-185.
3. Исследование причин повреждаемости объектов энергосистемы Рязанской области / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ Совет молодых учёных и специалистов Рязанской области. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 198-202.
4. Современные тенденции в диагностировании технологических процессов изготовления полупроводниковых материалов и структур с глубокими уровнями / В. В. Павлов, Д. Е. Каширин, А. В. Шемякин, С. Н. Борычев // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : материалы XXII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 06–07 декабря 2023 года. – Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2023. – С. 678-682.
5. Обоснование рациональных конструктивно-технологических параметров измельчителя воскового сырья / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, М. Н. Чаткин, И. И. Гришин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4. – С. 96-103.
6. Теоретическое исследование процесса очистки воскового сырья от загрязнений при интенсивном механическом перемешивании в воде / Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 94-99.
7. Каширин, Д. Е. Совершенствование методики электротехнических измерений в условиях агропромышленных предприятий / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 133-138.

8. К вопросу обоснования рациональных условий очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 87-91.

9. Каширин, Д. Е. Обоснование параметров электронагревательной установки для пчелиных ульев / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, К. Е. Гобелев // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 1(10). – С. 139-144.

10. Каширин, Д. Е. Феноменологическая модель диссипации колебаний в системе с нелинейными потерями энергии / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, Я. М. Глухих // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 24 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 105-108.

**УДК 631.531.16:58.085**

*Кленов Д.В.,  
Нагаев Н.Б., к.т.н.,  
Лузгин Н.Е., к.т.н.,  
Макаров Г.Н.,  
Паршин И.А.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **СОВРЕМЕННЫЕ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ**

В условиях внешнеэкономических ограничений российский агропромышленный комплекс испытывает острый дефицит высококачественного семенного материала, что обусловлено снижением доступности импортных технологий и посадочного фонда. Для картофеля — одной из базовых продовольственных культур Российской Федерации — качество исходного посевного материала является определяющим фактором продуктивности, поскольку растение отличается высокой чувствительностью к накоплению патогенов [1]. В процессе многолетней репродукции исходные клоновые линии картофеля подвержены как вертикальной (генетически обусловленной), так и горизонтальной (инфекционной) деградации; уже на 3–4-й год выращивания наблюдается выраженное уменьшение урожайности, достигающее 30 % и более [2].

С целью получения безвирусного элитного посадочного материала в современной практике применяется меристемная технология

микрклонального размножения, обеспечивающая формирование оздоровлённых растений путём выделения и культивирования апикальных меристем[3]. Меристема, как специализированная ткань из недифференцированных активно делящихся клеток, является биологическим аналогом стволовых клеток у животных и обладает высокой морфогенетической потенцией. У картофеля меристематические зоны локализованы в апексе побега, почках, кончиках корней и других участках активного роста. Благодаря способности этих клеток инициировать полноценную регенерацию органогенеза возможно получение исходного материала, свободного от большинства вирусных и бактериальных инфекций [4-5].

Меристемное семеноводство картофеля в РФ реализуется ограниченным числом специализированных предприятий, среди которых: ООО «Торговый дом ГРИНГОЛД», «Эверест», агрофирма «КРиММ», «Агрокомбинат племзавод Красногорский» и др. В Республике Татарстан с 1997 г. миниклубни производит ООО «Алчак». Крупным производственным центром является тепличный комплекс «Меристемные технологии» (Ставропольский край), где ежегодно формируется порядка 1–1,2 млн миниклубней массой 5–9 г. Однако в совокупности внутренние мощности покрывают лишь ограниченную долю потребности, что указывает на структурную недообеспеченность рынка оздоровлённого посадочного материала и необходимость расширения производственных технологий.

Следует отметить, что меристемные растения обладают высокой физиологической чувствительностью на ранних этапах роста. Их культивирование осуществляется в условиях герметичных *in vitro* систем при влажности, близкой к 100 %, что формирует узкую адаптационную нишу. Резкое понижение влажности при переносе в условия открытого грунта (часто менее 60 %) вызывает стрессовые реакции и повышает риск гибели, что делает технологию капиталоемкой и требующей высокой квалификации [6-7].

В качестве альтернативного направления в последние годы активно развивается метод получения семенных клубней из ботанических семян картофеля (БСК). Данная технология, широко апробированная за рубежом, предполагает выращивание рассады из семян, образующихся после цветения растения. Исследования ряда зарубежных авторов (M. V. Guner, M. J. Beilby, S. Gilroy, M. Białasek, V. R. Haraszi, J. Fromm и др.) подтверждают её перспективность. В отечественной научной практике метод изучается И. Г. Сидорцовым, Н. В. Стацюк и С. В. Качешвили, которые отмечают возможность повышения продуктивности формируемых клубней на величину до 20 % относительно контрольных образцов [8].

Тем не менее, использование БСК сопряжено с существенным технологическим ограничением — крайне низкой естественной всхожестью семян, обусловленной длительным периодом физиологического покоя, который может продолжаться от 4 до 9 месяцев. В этой связи значительный интерес вызывают неразрушающие физические методы предпосевной стимуляции. Среди них наибольшее число подтверждённых результатов связано с

воздействием импульсного электрического поля (ИЭП), способного модифицировать ионный транспорт, активировать ферментативные системы и сокращать продолжительность латентного периода онтогенеза. Исследования, выполненные в Японии, Китае, Индии, Канаде, США, Иране, Вьетнаме и России, показывают, что ИЭП способствует ускорению появления всходов, увеличению энергии прорастания и частичному снятию физиологического покоя [9-10].

Несмотря на доказанный физиологический эффект электромагнитных факторов, их широкое внедрение в семеноводство сдерживается отсутствием комплексных исследований механизмов взаимодействия ИЭП с биоматериалом и нехваткой специализированного оборудования, способного обеспечивать точные, воспроизводимые параметры обработки. Совершенствование данной области требует разработки аппаратных комплексов с автоматизированными системами контроля, управления и мониторинга, построенных на современной цифровой измерительной базе.



1 – активатор или рабочая камера, 2 – привод для регулирования скорости потока слоя семян, 3 – генератор импульсов

Рисунок 1 – Лабораторная установка для предпосевной обработки семян импульсным электрическим полем

В представленной лабораторной установке (рис. 1) предусмотрена регулировка межэлектродного расстояния, что позволяет устранить неоднородность электрического поля, обусловленную воздушной прослойкой. При этом конструкция обладает высокой безопасностью и низким энергопотреблением. Тем не менее, установка также не предоставляет функции мониторинга параметров обработки в реальном времени, а изменение межэлектродного расстояния требует разборки рабочей камеры перед каждым опытом, что снижает её практическую применимость. Учитывая наклонное расположение электродов, толщина семенного слоя остаётся неоднородной, что приводит к пространственной неравномерности напряжённости поля.

Спиров В.Г. предложил устройство (рис. 1) для стимулирующей и обеззараживающей обработки семян импульсным электрическим полем высокой напряжённости при фиксированных частотах следования импульсов (60, 120 и 180 Гц). Управление экспозицией осуществляется таймером с диапазоном 1–60 с. Конструктивные преимущества установки — минимальная травмировка семян и приемлемый уровень безопасности оператора. Однако отсутствует возможность управления длительностью импульса, мониторинга напряжённости поля и автоматизированного контроля процессов обработки внутри рабочей камеры.

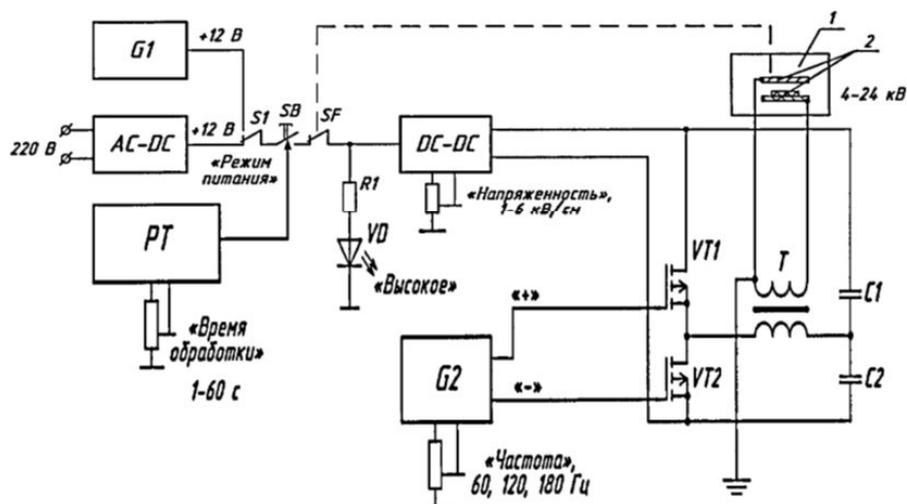


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки Спирина В.Г.

А.П. Ишков предложил метод контроля предпосевной обработки, основанный на регистрации температуры с использованием серий термопар. Однако метод требует проведения полевых испытаний и не позволяет оценить фактическое электрическое воздействие на семена. Кроме того, идея об одинаковой «дозе воздействия» для разных культур противоречит экспериментальным данным многочисленных исследований, в которых установлена культуроспецифичность реакций на электромагнитные поля.

Из промышленных образцов выделяются: «Садко» (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», Саров) — установка коронного разряда для стимуляции и обеззараживания семян, обеспечивающая повышение урожайности на 15–20 % при производительности 3–3,5 т/ч (рис. 3). Установка «Микростим 2М» (компания «Сизар», Украина) реализует технологию микроволновой обработки, обеспечивая повышение полевой всхожести и подавление фитопатогенов.

Однако данные установки не предоставляют расширенного диапазона рабочих частот, регулировки параметров импульсов, автоматизированного контроля напряжённости поля и мониторинга условий обработки.

Проведённый патентно-информационный анализ установок для предпосевной обработки семян электромагнитными и электрическими полями показал, что, несмотря на наличие широкого спектра разработанных технических решений, большинство из них находятся на стадии лабораторных

образцов или патентов и не обладают достаточной степенью технологической зрелости для промышленного внедрения. Основным ограничивающим фактором является отсутствие средств автоматизированного контроля параметров воздействия непосредственно в рабочей камере, что не позволяет обеспечить воспроизводимость обработки и объективную оценку получаемой дозы воздействия.



Рисунок 3 – Установка коронного разряда для стимуляции и обеззараживания семян «Садко»

Значительная часть установок характеризуется ручной загрузкой и выгрузкой, разборной конструкцией рабочей камеры, отсутствием регулировки межэлектродного расстояния и горизонтальной ориентацией электродов, что приводит к неоднородности электрического поля и снижению технологической эффективности. Доступные на рынке промышленные образцы (например, установки «Садко», «Микростим 2М») решают ряд задач, связанных с обеззараживанием и стимуляцией, однако также не обеспечивают полного контроля параметров обработки и не адаптированы для прецизионного управления режимами ИЭП.

Одновременно с этим анализ показывает наличие устойчивого научного интереса к методам импульсного электрического поля, подтверждённого эффективностью таких воздействий в исследованиях различных стран. Тем не менее отсутствие комплексных технических средств, способных формировать управляемое импульсное поле с контролируемой длительностью, частотой, напряжённостью и однородностью, ограничивает практическое применение данных технологий в сельском хозяйстве.

Таким образом, можно заключить, что в настоящее время существует явный технологический разрыв между научными достижениями в области электрофизической обработки семян и реальным уровнем технического обеспечения отрасли. Для его устранения требуется разработка нового класса установок, обеспечивающих автоматизированный контроль параметров обработки, однородность электрического поля, регулировку межэлектродного зазора без разборки, безопасную эксплуатацию и интеграцию современных цифровых систем управления. Создание подобных технических средств является необходимым условием для широкого внедрения технологий электромагнитной стимуляции семян в практику растениеводства и повышения эффективности отечественного семеноводства.

### ***Библиографический список***

1. Повышение эффективности предпосевной обработки семян путем облучения ультрафиолетовой светодиодной установкой в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, А. С. Красников, А. А. Жильцова, А. А. Калмыков // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 315-319.

2. Обзор существующих способов обеззараживания зерна на линиях послеуборочной обработки / Д. О. Иванова, Я. А. Брюхин, Н. Б. Нагаев, А. В. Винников // Новации как стратегическое направление механизации и автоматизации сельского хозяйства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007). – Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 59-64.

3. Анализ способов повышения равномерности нагрева семян рапса в рабочей камере СВЧ-устройства / Н. Б. Нагаев, С. В. Шульженко, Г. Н. Макаров, И. А. Паршин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 3(22). – С. 109-116.

4. Определение теплофизических характеристик воскового сырья / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : Сборник трудов научных чтений Посвящается памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика Я.В. Бочкарева, Рязань, 01 января – 31 2014 года. Том Выпуск 11. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 137-142.

5. Спектральный состав излучения комбинированных облучательных приборов для сельского хозяйства / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 118-124.

6. Повышение энергоэффективности облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Д. В. Сусов, А. А. Тельнова, Ю. А. Рубина // Инженерные решения

для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 136-142.

7. Нагаев, Н. Б. Анализ влияния различных факторов на повышение энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Ю. А. Рубина, Е. В. Кондрашов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 73-77.

8. Обзор влияния различных факторов освещения и облучения на производственные процессы предприятий АПК / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 86-91.

9. Исследование электрофизических параметров комбикорма / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 125-130.

10. Определение параметров светодиодной осветительной системы для облучения сельскохозяйственных животных / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 131-136.

11. Инновационные элементы агротехнологий возделывания картофеля в Нечерноземной зоне России / М. М. Крючков [и др.]. – Рязань: РГАТУ, 2018. – 181 с.

12. Капитулина, О. Н. Фитосанитарное состояние агроценозов картофеля в условиях Рязанской области / О. Н. Капитулина, Д. В. Виноградов, К. Р. Лупова // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 2(68).

13. Туркин, В. Н. Методика расчета линии тукосмешивания при выращивании картофеля / В. Н. Туркин // Научно-практические аспекты инновационных технологий возделывания и переработки картофеля : Материалы международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2015. - С. 417-420.

14. Совершенствование предпосадочной подготовки семенного картофеля с помощью автоматизированных расчетов / Д.В. Колошеин, А.А. Назарова, А.С. Попов, Е.А. Лазарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 209. - С. 554-562.

15. Фитопрепарат для инактивации микотоксинов, возникающих в зерновой массе / И. А. Кондакова, В. И. Левин, И. П. Льгова, Ю. В. Ломова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 18-23.

16. Повышение эффективности уборки картофеля в условиях пониженной влажности : / И. В. Лучкова [и др.]. – Рязань : РГАТУ, 2022. – 148 с.

17. Эффективность применения регуляторов роста под картофель / С. В. Григорьева, В. А. Ермолаева, Л. А. Антипкина, В. И. Левин // Научные

приоритеты развития АПК, лесного хозяйства и сферы гостеприимства, Рязань, 28 февраля – 28 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 39-44.

18. Потери картофеля при различных технологиях хранения / А.Б. Мартынушкин, С.А. Кистанова, М.В. Поляков, А.Ю. Виноградов // Инновации в сельском хозяйстве и экологии: Материалы III Международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 272-276.

19. Мелешков, С. И. Совершенствование режущего аппарата роторной косилки / С. И. Мелешков, В. А. Кончин // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : Сборник научных статей 5-й Международной научно-технической конференции, Курск, 03 октября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 120-122.

20. Перспективы картофелеводства в Рязанском АПК / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович, А. А. Желтоухов // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 17-18.

**УДК 631.363.7; 004.94**

*Конев А.Ю., аспирант,  
Хольшев Н.В., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО ТГТУ, г. Тамбов, РФ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБТЕКАНИЯ СТЕРЖНЕЙ ЛОТКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ В МОДУЛЕ FLOW SIMULATION SOLIDWORKS**

Процесс смешивания сыпучих компонентов является сложной технологической операцией. Для ее выполнения применяется различного вида и конструкции смесители. Процесс смешивания используется во многих отраслях промышленности, в том числе и при приготовлении кормов сельскохозяйственным животным. Размер энергозатрат на приготовления корма оказывает существенное влияние на себестоимость продукции животноводства, что негативно сказывается на доступности данной продукции для населения, что противоречит основным положениям «Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» [1]. В связи с этим происходит постоянный поиск путей снижения удельных затрат энергии на приготовление кормовых смесей за счет совершенствование конструкции смесительного оборудования [2-5]. Одним из вариантов, который позволит сократить удельные затраты энергии на процесс смешивания, является применение технологических схем с формированием предварительных смесей – процесс смешивания разделен на несколько этапов для уменьшения различия в долях соотношения смешиваемых компонентов [6]. За счет этого обеспечивается уменьшение времени смешивания в основном смесителе и снижение удельных затрат энергии на процесс смешивания. Для повышения эффективности такого

решения было предложено использовать для формирования предварительных смесей гравитационный лотковый смеситель оригинальной конструкции [7], тем самым исключая затраты энергии на процесс смешивания на этапе формирования предварительных смесей. Одной из его конструктивных особенностей является то, что он содержит плоские лотки на поверхности, которых располагаются наклонные стержни треугольного сечения.

Для обоснования основных параметров лоткового смесителя был проведен ряд теоретических исследований. Одним из параметров, подлежащих обоснованию, является угол сечения стержня  $\gamma_c$  (угол встречи потока), по которому происходит переход компонентов смеси с поверхности лотка на стержень.

На предварительном этапе было решено произвести поисковое моделирование в модуле FLOW SIMULATION SOLIDWORKS по ранее апробированной методике [8]. Суть ее заключается замене сыпучего материала потоком жидкости и моделировании процесса его течения по поверхности рабочих органов. Данный подход отличается достаточно высокой информативностью с минимальными временными затратами и позволяет определить предварительные значения интересующих параметров.

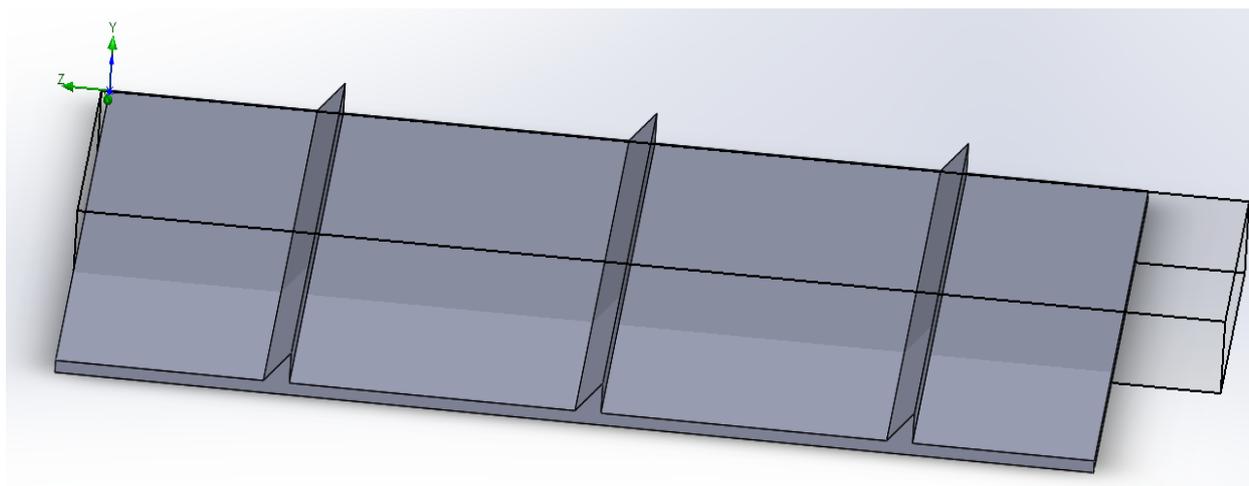


Рисунок 1 – Модель лотка смесителя со стержнями

Для выполнения моделирования была выполнена модель лотка со стержнями на его поверхности (рисунок 1). Высота стержней и их шаг были приняты постоянными и были равны 5 мм и 60 мм соответственно. Лоток располагался горизонтально, а стержни перпендикулярно потоку жидкости. В качестве моделируемой жидкости выбрана вода. Шероховатость поверхности лотка и стержней – 2 микрометра. Угол встречи стержней с потоком изменялся от  $5^\circ$  до  $45^\circ$  с шагом  $20^\circ$ . На данном этапе критерием эффективности процесса смешивания было выбрано количество и высота слоев жидкости, имеющих различную скорость. Время моделирования – 3 секунды. Скорость потока в начале лотка – 1 м/с

В результате моделирования были получены поля скоростей слоев жидкости в продольном сечении с учетом изменения угла  $\gamma_c$  (рисунки 2 - 4).

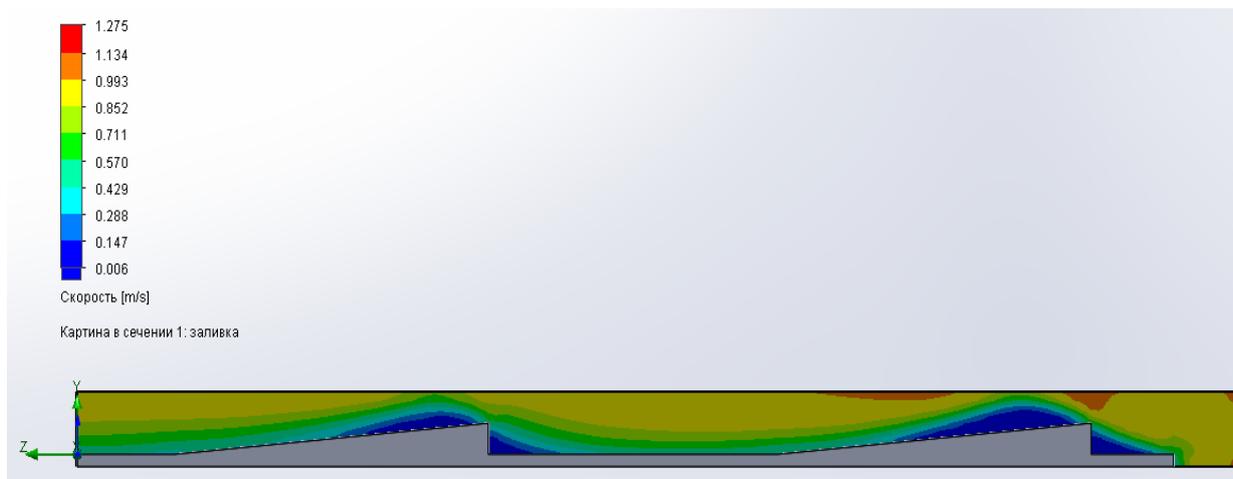


Рисунок 2 – Угол стержня  $\gamma_c = 5^\circ$

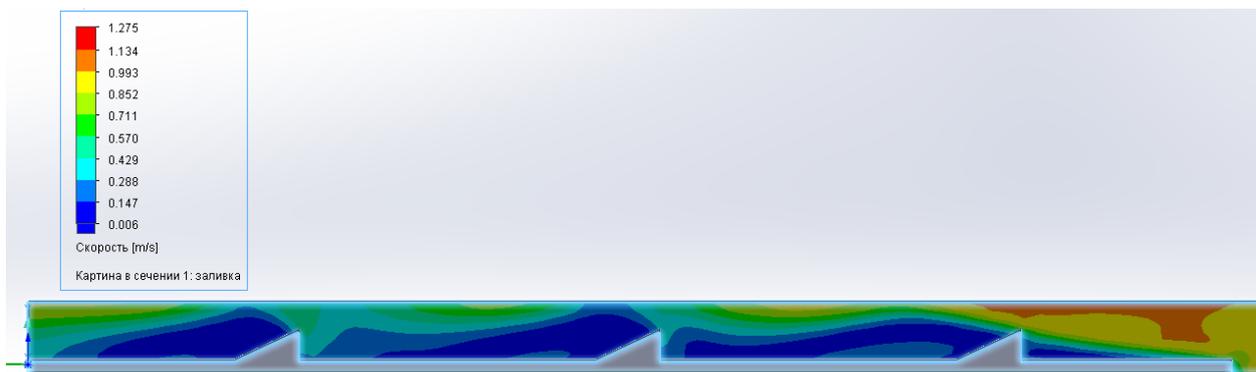


Рисунок 3 – Угол стержня  $\gamma_c = 25^\circ$

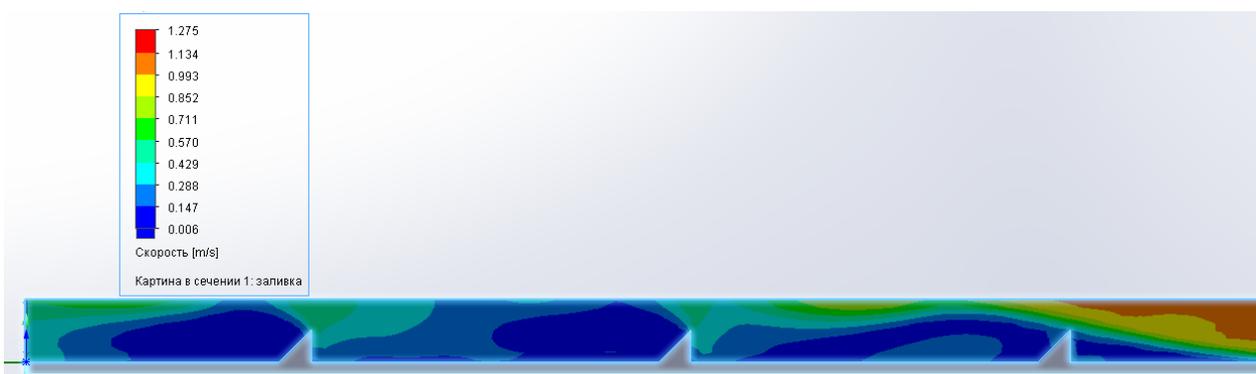


Рисунок 4 – Угол стержня  $\gamma_c = 45^\circ$

Как видно из рисунков 2 – 4, наибольшее расслоение жидкости наблюдается при малых углах стержня. Так при угле  $\gamma_c = 5^\circ$  количество слоев с различной скоростью достигает 7 на первом стержне и доходит до 8 на втором. Увеличение количества слоев на втором стержне вызвано сходом потока с

лотка. Но толщина слоев расположенных близко к поверхности лотка небольшая. В таком случае, с учетом конечных значений размеров смешиваемых компонентов, близлежащие слои будут объединяться, тем самым снижая расслоение потока по скоростям и ухудшая перемешивание. При значении угла  $\gamma_c=45^\circ$  на первых двух стержнях наблюдаются большие (высокие) области, имеющие скорость близкую к нулю, что также негативно скажется на процессе смешивания из-за образования неподвижных областей, по которым остальные компоненты будут проскальзывать. В области первых двух стержней их число колеблется от 5 до 4, а в зоне третьего стержня количество полей скоростей составило также 8, что опять же вызвано сходом с лотка.

Уменьшение угла стержня до  $25^\circ$  градусов ведет к формированию 7 слоев на первом и втором стержнях и 8 слоев на третьем стержне. Стоит отметить, что высота слоев для такого варианта более равномерна, что может способствовать организации минимум трех слоев примерно равной толщины при движении реальной смеси.

Применение компьютерного моделирования существенно упрощает процесс оптимизации параметров смесительного оборудования, а замена сыпучего материала жидкостью и использование модуля FLOW SIMULATION SOLIDWORKS сокращает время моделирования и снижает требования к производительности компьютера [8]. Результаты проведенного предварительного моделирования показывают, что рациональные значения угла стержня, обеспечивающие формирование слоев жидкости с различной скоростью и примерно одинаковой высоты, должны быть не менее  $5^\circ$  и не более  $25^\circ$ . Для установления более точных значений необходимо провести дополнительные исследования: моделирования при других значениях угла  $\gamma_c$  и натурных испытаний. Данные результаты получены без учета угла наклона лотка, который также будет оказывать влияние на характер обтекания стержней и величину угла стержня, но в целом подтверждают результаты теоретических исследований, проведенных ранее. Оценка данного влияния также требует дальнейших исследований: теоретических и экспериментальных.

### *Библиографический список*

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. [Электронный ресурс]. - URL: [https://minobrnauki.gov.ru/upload/2025/03/Doktrina\\_prodoovolstvennoy\\_bezopasnost\\_i.pdf](https://minobrnauki.gov.ru/upload/2025/03/Doktrina_prodoovolstvennoy_bezopasnost_i.pdf) (дата обращения: 24.10.2025)

2. Ульянов, В. М. Двухспиральный смеситель кормов / В. М. Ульянов, В. В. Утолин, И. Т. Батиров // Инновационные технологии: опыт, проблемы, перспективы развития, Тверь, 25 октября 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 383-387

3. Обоснование конструктивно-технологических параметров смесителя кормов / В. М. Ульянов, В. В. Утолин, А. А. Полункин, Е. Е. Гришков // Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения : Сборник

научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2013. – С. 63-68.

4. Коновалов, В. В. Повышение эффективности средств механизации приготовления и выдачи кормосмесей в свиноводстве : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Коновалов Владимир Викторович. – Пенза, 2005. – 38 с.

5. Ведищев, С. М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ведищев Сергей Михайлович. – Мичуринск, 2018. – 41 с.

6. Ревякин, Е. Л. Опыт освоения современных технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбикормовых предприятий / Е. Л. Ревякин, В. И. Пахомов ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса; Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Москва : Росинформагротех, 2007. – 127 с.

7. Патент № 2843793 С1 РФ, МПК В01F 23/60, В01F 25/40, В28С 5/04. Лотковый смеситель// Н. В. Хольшев, С. М. Ведищев, А. В. Прохоров [и др.] ; заявл. 21.03.2025 : опубл. 18.07.2025. Бюл. № 20.

8. Методика и результаты моделирования в «flow simulation» «SOLIDWORKS 2018» процесса обтекания лопатки смесителя кормов / А. Ю. Конев [и др.] // Наука в центральной России. – 2023. – № 6(66). – С. 93-101.

9. Туркин, В. Н. Оптимизация применения минеральных и биологизированных удобрений с использованием тукосмесительных машин нового поколения / В. Н. Туркин, А. С. Комягин // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань: РГАТУ, 2017. - С. 350-354.

10. Оптимизация технологических параметров гальванического осаждения износостойких композиционных покрытий методом математического планирования эксперимента / В. А. Кончин [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 19-32.

11. Планирование эксперимента в инженерно-технической сфере АПК с использованием компьютерной программы "Mathematica" / А. А. Хрипин, В. М. Ульянов, В. А. Хрипин [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 475-480.

*Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Семина Е.С., к.т.н.,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГТУ, г. Рязань, РФ*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ МАЛЫХ ПОСЕЛЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД**

В настоящей статье представлен комплексный подход к проектированию интегрированных микрогидроэлектростанций (МГЭС), ориентированных на обеспечение энергетической независимости малых населенных пунктов. Исследование сосредоточено на разработке оригинальных методик, позволяющих максимально использовать локальные гидрологические и топографические ресурсы, минимизируя при этом воздействие на окружающую среду и экономические затраты. Предлагается многоаспектный анализ существующих технологий, выявление их слабых сторон применительно к специфике малых поселений, а также обоснование выбора оптимальных конструктивных решений и материалов. Акцент делается на применении адаптивных турбинных систем, модульных конструкций и интеллектуальных систем управления, способных функционировать в условиях ограниченной инфраструктуры и квалифицированного персонала. Статья содержит оригинальные гипотезы относительно эффективности интеграции МГЭС с локальными системами накопления энергии и сетевой инфраструктурой.

Доступ к надежному и экономически обоснованному электроснабжению является краеугольным камнем социального и экономического развития. Для малых населенных пунктов, особенно в удаленных и труднодоступных регионах, проблема энергетической обеспеченности часто стоит особенно остро. Традиционные централизованные системы электроснабжения, полагающиеся на дорогостоящие линии электропередач и ископаемое топливо, зачастую нерентабельны или недоступны для таких поселений. Это порождает цепной эффект негативных последствий: ограничения в развитии местной экономики, снижение качества жизни населения, усиление зависимости от внешних источников энергии и, как следствие, уязвимость в чрезвычайных ситуациях.

В этом контексте микрогидроэлектростанции (МГЭС), использующие энергию малых водных потоков, представляют собой перспективное решение для обеспечения энергетической автономии малых населенных пунктов. Однако, существующие подходы к проектированию МГЭС часто ориентированы на стандартизированные решения, которые не учитывают уникальные гидрологические, топографические и социально-экономические

особенности конкретных местностей. Это приводит к недоиспользованию локального потенциала, излишним затратам и, в некоторых случаях, к неэффективной эксплуатации [1,2,3].

Настоящее исследование направлено на разработку интегрированного подхода к проектированию МГЭС, который выходит за рамки шаблонных решений. Мы ставим целью создать методологию, позволяющую максимально адаптировать МГЭС к специфике малых населенных пунктов, учитывая их размер, потребность в энергии, доступные водные ресурсы и существующую инфраструктуру. Основной акцент делается на повышении адаптивности, надежности и экономической эффективности МГЭС, а также на минимизации их экологического следа.

Анализ мирового опыта проектирования и эксплуатации МГЭС демонстрирует широкий спектр используемых технологий и подходов. Рассмотрим основные из них, выявив их преимущества и недостатки применительно к малым населенным пунктам:

- Традиционные турбинные установки (Пелтона, Френсиса, Каплана):
  - Преимущества: Высокая эффективность при оптимальных напорах и расходах.
  - Недостатки: Чувствительность к изменениям расхода воды (особенно для турбин Пелтона и Френсиса), сложность и высокая стоимость изготовления, необходимость точного соответствия параметров турбины условиям водотока. Для малых населенных пунктов, где расход воды может быть сезонно переменным, такие турбины часто работают с пониженным КПД или требуют сложных систем регулирования.
- Осевые винтовые турбины (типа “Архимедов винт”):
  - Преимущества: Простая конструкция, высокая эффективность при малых напорах и переменных расходах, низкое воздействие на водную фауну.
  - Недостатки: Ограниченность по напору (обычно до 5-10 метров), относительно низкая удельная мощность.
- Погружные турбины (типа “гидрокинетический генератор”):
  - Преимущества: Отсутствие необходимости строительства плотин и водоводов, простота монтажа, минимальное воздействие на окружающую среду.
  - Недостатки: Зависимость от постоянного течения, ограниченность по напору, чувствительность к донным отложениям и мусору.
- Модульные и контейнерные МГЭС:
  - Преимущества: Быстрый монтаж, стандартизированные решения, возможность легкой транспортировки и замены.
  - Недостатки: Ограниченная возможность адаптации к уникальным условиям, потенциально более высокая стоимость единицы мощности по сравнению с индивидуальными проектами [4,5,6].

Слабые стороны существующих подходов для малых населенных пунктов:

1. Недооценка гидрологического потенциала: Часто используются только стабильные, но незначительные гидрологические ресурсы, игнорируя

возможности использования сезонных паводков или неполного использования потенциала водотоков.

2. Избыточная сложность и стоимость: Применение технологий, разработанных для крупных ГЭС, в малых масштабах приводит к неоправданным затратам на проектирование, изготовление и обслуживание.

3. Низкая адаптивность к переменным условиям: Сезонные колебания расхода воды и напора часто приводят к снижению эффективности или остановке работы МГЭС.

4. Сложность интеграции: Отсутствие гибкости в подключении к существующей или проектируемой локальной электросети и системам накопления энергии.

5. Недостаточный учет локальных факторов: Игнорирование доступности местных материалов, квалифицированных кадров и специфики местного ландшафта.

Предлагаемая нами методология проектирования МГЭС для малых населенных пунктов основывается на комплексе взаимосвязанных этапов, направленных на достижение максимальной эффективности и адаптивности:

Гипотеза: Комплексный сценарный анализ позволит выявить недоиспользованный гидрологический потенциал, который часто упускается при стандартных подходах.

Основываясь на результатах гидрологического анализа, предлагается использовать адаптивные турбинные системы, способные работать с высокой эффективностью в широком диапазоне напоров и расходов.

- Мультирежимные турбины: Проектирование турбин, которые могут работать в различных режимах, например, турбина Пелтона с несколькими соплами, каждое из которых может быть независимо включено или выключено, или турбина Френсиса с регулируемыми направляющими аппаратами и, возможно, с возможностью перехода в режим рабочего колеса с осевым потоком.

- Гибридные турбины: Комбинация принципов работы различных типов турбин в одном агрегате. Например, турбина, сочетающая лопасти винтового типа для малых напоров и регулируемые лопасти для более высоких напоров.

- “Эластичные” турбины: Разработка лопастей турбины из композитных материалов с изменяемой жесткостью, способных деформироваться под воздействием потока, оптимизируя форму и угол атаки. Этот подход, хотя и является новаторским, может обеспечить существенный прирост эффективности.

- Модульные блоки: Разработка турбинного, генераторного и управляющего оборудования в виде стандартизированных, легко монтируемых и транспортируемых модулей. Это ускоряет процесс установки, облегчает ремонт и обслуживание.

- Конструкции, адаптированные к ландшафту: Проектирование малых плотин, водозаборов и водоводов с учетом рельефа местности, минимизируя земляные работы и воздействие на природный ландшафт.

Применение геосинтетических материалов и принципов биоинженерного строительства для укрепления берегов и снижения эрозии.

- Использование локальных материалов: Максимальное применение доступных местных строительных материалов (при наличии соответствующих стандартов качества) для снижения транспортных расходов и стоимости.

- Автоматизированное управление: Разработка систем управления, способных в реальном времени анализировать расход воды, нагрузку на сеть, состояние батарей и оптимизировать работу МГЭС. Использование алгоритмов нечеткой логики (Fuzzy Logic) и систем поддержки принятия решений.

- Интеграция с системами накопления энергии: Оптимальное взаимодействие МГЭС с локальными накопителями энергии (аккумуляторы, водородные системы) для обеспечения стабильного энергоснабжения независимо от текущей выработки.

- “Умная” сеть (Smart Grid) на микроуровне: Проектирование локальной электросети, способной динамически распределять энергию, управлять потреблением и обеспечивать взаимодействие с другими источниками энергии (например, солнечными панелями).

- “Зеленые” водозаборы: Применение конструкций водозаборов, минимизирующих влияние на рыбные популяции и другие водные организмы (например, с использованием рыбозащитных решеток с низким сопротивлением потоку).

- Снижение эрозии берегов: Использование биоинженерных решений для стабилизации русла реки и предотвращения эрозии.

- Мониторинг: Внедрение систем мониторинга качества воды и экологического состояния водотока [7,8,9].

Теоретический вклад:

- Формулировка концепции “Интегрированной Микрогидроэнергетики”: Разработка теоретической основы для проектирования МГЭС, учитывающей многоаспектную адаптивность к локальным условиям.

- Разработка новых методик оценки гидрологического потенциала: Предложение методов, выходящих за рамки традиционного статистического анализа, включая анализ флюидной топографии и вероятностное моделирование.

- Гипотеза об эффективности “эластичных” турбин: Обоснование потенциала использования деформируемых лопастей турбин для повышения КПД в условиях переменного потока.

- Модель “микро-умной сети” для изолированных поселений: Теоретическое обоснование возможности создания децентрализованной, интеллектуальной системы энергоснабжения на базе МГЭС.

Практический вклад:

- Создание комплексной методологии проектирования: Предоставление готового к применению инструментария для инженеров и специалистов, занимающихся проектированием МГЭС.

- Рекомендации по выбору оптимальных технологий: Обоснование выбора конкретных типов турбин, материалов и систем управления для различных сценариев малых населенных пунктов.

- Снижение стоимости и повышение надежности МГЭС: Предлагаемые решения направлены на оптимизацию затрат на всех этапах жизненного цикла МГЭС.

- Повышение энергетической автономии малых населенных пунктов: Обеспечение стабильного и доступного энергоснабжения, способствующего социальному и экономическому развитию.

Гидрологический анализ:

- Использование методов пространственного анализа (GIS): Для детального изучения рельефа, гидрографической сети и выявления потенциальных мест для строительства МГЭС.

- Применение статистических методов машинного обучения: Для прогнозирования расхода воды с учетом корреляции с атмосферными явлениями, влажностью почвы и другими факторами. Это выходит за рамки простого осреднения, позволяя прогнозировать кратковременные колебания.

- Моделирование стохастических процессов: Применение моделей Марковских цепей или стохастических дифференциальных уравнений для более точного описания изменчивости гидрологического режима.

3D-моделирование и виртуальное прототипирование:

- Вычислительная гидродинамика (CFD): Для детального моделирования потоков воды вокруг турбин и в водоводах. Это позволяет оптимизировать форму лопастей, каналов и других элементов, снижая потери и повышая эффективность.

- Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR): Для визуализации проектных решений, обнаружения коллизий на этапе проектирования и обучения персонала.

Для турбин:

- Композитные материалы с повышенной износостойкостью: Использование стеклопластика, углепластика или специальных керамических покрытий для лопастей. Эти материалы легче металла, менее подвержены коррозии и обладают лучшими антифрикционными свойствами.

- Полимерные материалы с “самовосстанавливающимися” свойствами: Исследуются полимеры, способные при микрповреждениях (например, от абразивных частиц в воде) восстанавливать свою структуру, продлевая срок службы.

Для конструкций:

- Геосинтетические материалы: Для укрепления берегов, формирования оснований и дренажа. Использование геомембран, георешеток и геокомпозитов позволяет снизить объем бетонных работ и улучшить долговечность конструкций.

- “Зеленая” инфраструктура: Применение растительных насаждений (верная посадка ивы, тростника) в сочетании с легкими конструкциями для естественного укрепления берегов и снижения эрозии.

Адаптивность турбин:

- Теория гидродинамической оптимизации: Основываясь на работах известных гидродинамиков, таких как Н.Е. Жуковский и В.Н. Луценко, мы предполагаем, что регулирование формы лопастей турбины в реальном времени, аналогично изменению угла атаки птичьих крыльев, может обеспечить постоянное приближение к режиму максимальной эффективности.

- Принцип соответствия: Каждая турбина должна иметь возможность “настроиться” на конкретный гидрологический режим. Мультирежимность позволяет достичь этого, жертвуя некоторой пиковой эффективностью в пользу более стабильной работы в широком диапазоне.

Интеллектуальное управление:

- Теория управления системами с неопределенностью: Для работы в условиях переменных потоков и нагрузок, системы управления должны быть способны принимать решения в условиях неполной информации. Алгоритмы нечеткой логики и нейронные сети отлично подходят для этой задачи.

- Теория самоорганизующихся систем: Микро-умная сеть может быть спроектирована как самоорганизующаяся система, где отдельные компоненты (МГЭС, накопители, потребители) обмениваются информацией и адаптируются к изменяющимся условиям без централизованного управления [10,11].

Гипотетический сценарий 1: Удаленная деревня в горной местности.

- Характеристики: Небольшой, но достаточно быстрый горный ручей с сезонными паводками, переменным расходом воды. Наличие относительно каменистого рельефа.

- Предлагаемое решение: Использование адаптивной турбины с несколькими соплами (мультирежимная), установленной на опорах, минимизирующих земляные работы. Турбина будет работать на частичной мощности в межень, а в период паводка – на полную мощность. Система управления будет автоматически регулировать количество работающих сопел.

- Обоснование: Этот подход позволит максимально использовать энергию ручья в течение всего года, а модульная конструкция и использование композитных материалов снизят затраты на установку в труднодоступной местности.

Гипотетический сценарий 2: Поселение у равнинной реки с медленным течением.

- Характеристики: Широкая равнинная река с очень малым напором (менее 3 метров), но стабильным течением.

- Предлагаемое решение: Применение большой осевой винтовой турбины (типа “Архимедов винт”) или погружной гидрокинетической турбины, интегрированной с системой накопления энергии.

- Обоснование: Для низких напоров оптимальны винтовые турбины. Отсутствие необходимости в строительстве плотины и водоводов значительно

удешевляет проект. Интеграция с накопителями энергии компенсирует относительно низкую пиковую мощность.

Гипотетический сценарий 3: Поселение на острове с ограниченными водными ресурсами.

- Характеристики: Небольшое количество мелких ручьев, часто пересыхающих в летний период.

- Предлагаемое решение: Гибридная система, сочетающая МГЭС с солнечными фотоэлектрическими панелями и аккумуляторными батареями. МГЭС будет использоваться в основном в осенне-зимний период, а солнечные панели – в летний.

- Обоснование: Интеграция различных возобновляемых источников энергии позволяет обеспечить надежное энергоснабжение в условиях ограниченности одного ресурса.

Настоящее исследование демонстрирует, что проектирование МГЭС для малых населенных пунктов требует отхода от стандартизированных решений в пользу комплексного, адаптивного и контекстно-ориентированного подхода. Разработанная методология, основанная на глубоком гидрологическом анализе, применении адаптивных турбинных систем, модульном проектировании и интеграции с интеллектуальными системами управления, открывает новые возможности для обеспечения энергетической автономии удаленных поселений.

Основные выводы:

1. Существующие технологии МГЭС часто неоптимальны для малых населенных пунктов из-за их низкой адаптивности к специфическим условиям.

2. Динамический сценарный гидрологический анализ является ключевым этапом, позволяющим выявить недоиспользованный потенциал.

3. Адаптивные турбинные системы (мультирежимные, гибридные, “эластичные”) способны повысить эффективность МГЭС в широком диапазоне условий.

4. Модульное проектирование и использование локальных материалов снижают затраты и ускоряют процесс реализации проектов.

5. Интеллектуальные системы управления и интеграция с накопителями энергии обеспечивают стабильность и надежность энергоснабжения.

Рекомендации:

1. Разработать программное обеспечение для автоматизированного проектирования МГЭС, основанное на предложенной методологии, которое будет интегрировать гидрологические, топографические и экономические данные.

2. Провести дальнейшие научно-исследовательские работы по созданию и тестированию “эластичных” турбин, используя современные достижения в области материаловедения и биомиметики.

3. Развивать локальные инженерные компетенции в малых населенных пунктах для обеспечения более эффективного обслуживания и ремонта МГЭС.

4. Создать программы государственной поддержки и субсидирования для внедрения интегрированных микрогидроэнергетических решений в отдаленных и изолированных поселениях.

5. Провести пилотные проекты по внедрению предложенных решений в различных климатических и географических условиях для валидации и дальнейшей оптимизации методологии [12].

Реализация предложенных подходов позволит не только решить проблему энергодефицита, но и будет способствовать устойчивому развитию, повышению качества жизни и сохранению окружающей среды в малых населенных пунктах.

### *Библиографический список*

1. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4 кв и мероприятия по их снижению / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 2(11). – С. 140-143.

2. Анализ ламп применяемых для переменного оптического облучения рассады овощных культур в теплицах / А. С. Морозов [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 305-310.

3. Направления повышения энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 295-302.

4. Сравнение полупроводниковых приборов применяемых в преобразователях электрической энергии систем электроснабжения / И. И. Гришин, Е. С. Семина, А. С. Морозов, М. Бахрамзод // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – № 1. – С. 232-235.

5. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

6. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

7. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти

доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

8. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

9. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ 2023. – С. 192-199.

10. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

11. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

12. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

13. Сазонкин, К. Д. Экологическая устойчивость и рациональное землепользование / К. Д. Сазонкин, Д. В. Виноградов // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения. – Нальчик, 2023. – С. 134-136.

14. Современные перспективы использования преобразователей частоты в системах водоснабжения / В. Н. Туркин, Г. Р. Ипатьева, Е. В. Росликова, К. В. Юшкина // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. - Рязань: РГАТУ, 2017. - С. 344-350.

15. Проектирование электромеханических систем: от идеи до реализации / А. И. Денисов [и др.] // Перспективы развития транспортной системы в Российской Федерации : Материалы Всероссийской студенческой научно-

практической конференции, приуроченной к профессиональному празднику - Дню работника автомобильного транспорта, Рязань, 25 октября 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 185-190.

16. Использование программных комплексов 3D моделирования в альтернативной энергетике / А. В. Шемедюк, Д. Е. Каширин, Н. Б. Нагаев, И. О. Елисеев // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 318-323.

17. Жилияков Д.И. Оценка эффективности государственного регулирования устойчивого развития сельских территорий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 96-101.

18. Энергетические установки в агропромышленном комплексе / Н. В. Чижков [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 334-338.

**УДК 621.311.63**

*Моер А.А., магистрант,  
Божсков Д.Ю., магистрант,  
Научный руководитель: Олейник Д.О., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНИМАЛЬНОЙ И НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

Ключевым элементом земледелия и улучшения плодородия почв является их обработка. Однако, применяемые в хозяйствах Рязанской области технологии основной и предпосевной обработки зачастую не соответствуют современным принципам экономии ресурсов и энергии, а также игнорируют потребности выращиваемых культур. Чрезмерное уплотнение и измельчение верхнего слоя почвы из-за многократного прохождения тяжёлой техники привело к ухудшению естественного плодородия. В связи с этим возникла потребность в разработке и внедрении новых методов и инструментов, направленных на минимизацию воздействия на почву [1, 2].

Специалистами РГАТУ был проведен сравнительный анализ эффективности различных машинно-тракторных агрегатов (МТА) при проведении весенних, летних и осенних полевых работ. В ходе исследований определялись основные показатели производительности агрегатов, такие как ширина захвата, расход топлива на гектар, амортизационные отчисления, сменная производительность и другие параметры.

Совместно со специалистами хозяйства и агрономической службой анализировалась работа стерневой сеялки СС-6 при использовании систем минимальной и нулевой обработки почвы.

Результаты исследований, направленных на изучение изменений свойств почвы и развития посевов ячменя и озимой пшеницы, подтвердили эффективность применения стерневой сеялки СС-6 (табл. 1).

В посевах злаковых культур были выполнены исследования, направленные на определение прочностных характеристик и объемной массы грунта. Измерения проводились в периоды активного роста и во время формирования зерна у ярового ячменя, а также в фазу осеннего развития у озимой пшеницы.

Мягкая и богатая осадками зима 2023-2024 годов привела к значительному уплотнению почвенной структуры. Под толстым слоем снега верхний слой почвы не подвергался замораживанию, что способствовало сохранению высокой плотности к началу весеннего сезона.

В 2024 году, в начале роста ячменя, значения твердости почвы на участке, обработанном стерневой сеялкой СС-6 с применением нулевой обработки, незначительно превышали показатели на участке, где проводилась вспашка с традиционной предпосевной подготовкой. В слоях почвы, расположенных ниже пахотного, при нулевой обработке твердость оказалась даже меньше, чем при использовании традиционной технологии. Это обусловлено тем, что в варианте с традиционной обработкой слой почвы на глубине 20-30 см подвергался уплотнению из-за проходов сельскохозяйственной техники, в то время как при использовании сеялки СС-6 уплотнения глубоких слоев не наблюдалось.



Рисунок 1 – Вид рабочего органа сеялки СС-6 после выполненного объема работ в 1000 га.

Таблица 1 – Динамика твёрдости почвы, кг/см<sup>2</sup> в посевах ячменя 2024 г.

Слой почвы, см	Традиционная технология (вспашка, боронование, культивация, посев СЗУ-3.6)		Нулевая обработка (посев сеялкой СС-6 по стерне озимой пшеницы)	
	Фаза кущения	Молочная спелость	Фаза кущения	Молочная спелость
0-10	4.7	9.3	5.2	9.1
10-20	10.9	14.5	11.2	13.8
20-30	13.4	18.6	13.2	16.4

Таблица 2 – Динамика плотности почвы, г/см<sup>3</sup> в посевах ячменя 2024 г.

Слой почвы, см	Традиционная технология (вспашка, боронование, культивация, посев СЗУ-3.6)		Нулевая обработка (посев сеялкой СС-6 по стерне озимой пшеницы)	
	Фаза кущения	Молочная спелость	Фаза кущения	Молочная спелость
0-10	1.12	1.29	1.17	1.27
10-20	1.19	1.34	1.23	1.31
20-30	1.32	1.47	1.32	1.45

Таблица 3 – Структура урожая ячменя 2024 г.

Вариант	Продуктивная кустистость	Длина растений, см	Длина колоса, см	Число зёрен в колосе, шт	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность, ц/га	
						Биологическая	Фактическая
Традиционная обработка	2.7	79.3	6.1	21.7	48.7	27.6	25
Нулевая обработка	2.4	80.7	5.9	21.2	48.5	25.2	23

К моменту сбора урожая ячменя, при нулевой обработке земли, ее сопротивление было ощутимо меньше, чем при традиционной. Сохраненная структура почвы благотворно повлияла на формирование верхнего плодородного слоя к завершению цикла вегетации.

Аналогичные тенденции были замечены при исследовании плотности почвы (табл. 2). В условиях полевых испытаний 2024 года, различия между вариантами были минимальны, однако, если в начале вегетации оптимальные показатели плотности достигались традиционной технологией возделывания, то к концу лучшие агрофизические свойства демонстрировала нулевая обработка.

Измерения влажности почвы на ключевых этапах роста культуры подтверждают преимущество минимальной обработки в удержании влаги. В фазе кущения влажность почвы составляла 22,3 % при нулевой обработке против 19,5 % при обычной. К фазе выхода в трубку показатели влажности составили 19,1 % и 16,6 % соответственно. В 2024 году количество осадков превышало средние многолетние значения, поэтому потенциал минимальной обработки по сохранению влаги не был в полной мере востребован ячменем.

Отказ от основной и предпосевной обработки привел к увеличению сорняков на посевах. Подсчет сорняков в фазе кущения выявил, что при

нулевой обработке на квадратном метре в среднем было 94 сорных растения (что соответствует 3 баллам засорённости), тогда как при обычной обработке - 53 шт/м<sup>2</sup> (2 балла засорённости). Видовой состав сорняков не отличался по вариантам. Среди однолетних преобладали подмаренник цепкий, марь белая, пастушья сумка, а среди многолетних - хвощ полевой, осот полевой, вьюнок полевой.

Урожайность культуры, под которую проводилась обработка, является всесторонней оценкой эффективности различных систем обработки почвы. Анализ структуры урожайности ячменя (табл. 3) показал небольшое преимущество традиционной обработки. Продуктивная кустистость, длина колоса, количество зерен и масса 1000 зерен были незначительно выше при обычной обработке почвы. Посев культуры в стерню способствовал увеличению длины растений ячменя на 1,5 см. В результате, биологическая и фактическая урожайность была несколько выше при использовании традиционной технологии. Посев зерновой культуры в стерню снижал урожайность на 2-2,5 ц/га, в основном из-за потерь, вызванных сорняками.

Исследование влияния различных способов обработки почвы на урожайность ячменя было проведено однократно на обширном поле (140 гектаров), что исключает возможность статистической оценки значимости полученных результатов. Отсутствие повторности опыта не позволяет с уверенностью утверждать о явном преимуществе какой-либо из испытанных технологий возделывания.

Колебания в урожайности между разными системами обработки почвы оказались незначительными, не превышая 10 %, и, вероятно, находятся в границах допустимой погрешности эксперимента. В связи с этим, нельзя утверждать о статистически подтвержденном превосходстве традиционной технологии над минимальной обработкой с использованием стерневой сеялки в условиях вегетационного периода 2024 года. Полученные результаты демонстрируют сопоставимую продуктивность культуры при применении различных подходов к обработке почвы.

В текущей ситуации для аграрного сектора Рязанской области ключевое значение приобретают такие факторы, как прибыльность растениеводства и издержки на производство продукции. С экономической точки зрения предпочтительнее достигать умеренных показателей урожайности сельскохозяйственных культур, одновременно сокращая потребление оборотных активов. Стремление к рекордным урожаям, сопряженное с повышенной себестоимостью, в реалиях современных хозяйств теряет свою привлекательность.

### ***Библиографический список***

1. Бышов, Н. В. О перспективах развития технологии полосовой обработки почвы "Strip-Till" в Рязанской области / Н. В. Бышов, Д. О. Олейник, М. С. Борисова // Young Science. – 2014. – Т. 1, № 4. – С. 40-44.

2. Перспективы применения технологий нулевой и полосовой обработки почвы в Рязанской области / Д. Н. Бышов, Д. О. Олейник, Ю. В. Якунин, В. А. Нечаев // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 77-81.

3. Применение геоинформационных систем и дифференцированного распределения семян и удобрений при посеве озимой пшеницы / Н. В. Бышов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 92-97.

4. Мониторинг почвенных неоднородностей на основании мультиспектральных снимков полей в технологиях утилизации пожнивных остатков в качестве удобрения / И. Ю. Богданчиков [и др.] // Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения: Материалы 71-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 15 апреля 2020 года. Том Часть 2. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 96-101.

5. Крючков, М.М. Применение почвообрабатывающих и посевных комбинированных агрегатов в условиях Рязанской области / М. М. Крючков, О. В. Лукьянова. – Рязань: РГАТУ, 2013. – 157 с.

6. Технологии механизированных работ в растениеводстве : Практикум по дисциплине Технологии механизированных работ в растениеводстве для студентов среднего профессионального образования по направлению подготовки 35.02.07 – Механизация сельского хозяйства / О. А. Чехунов [и др.]. – п. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2019. – 86 с.

7. Современные тенденции в сельском хозяйстве / Е. М. Зайцев, К. Д. Сазонкин, А. А. Соколов, А. В. Ручкина // Научно-исследовательские решения высшей школы. – Рязань, 2023. – С. 105-106.

8. Комплексный эколого-биологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения / О.А. Федосова [и др.] // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова. Рязань, 23 ноября 2021 года. Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 68-76.

9. Черкашина, Л. В. Статистический анализ урожайности зерновых и зернобобовых культур / Л. В. Черкашина, Л. В. Романова // Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы : Сборник научных статей участников 22-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Курск, 12 мая 2023 года. Том 2. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 301-305.

10. Способы повышения урожайности картофеля / Т. Ю. Амелина, А. Н. Гордиенко, И. А. Кабанова, Г. Н. Фадькин // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : МАТЕРИАЛЫ Международной научно-практической конференции, посвященной памяти

члена-корреспондента РАСХН и НАНКС академиком МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В., Рязань, 09 декабря 2020 года. Том 1. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 59-61.

11. Инновации в российском сельском хозяйстве / А.А. Кутыраев [и др.] // Инновационное развитие аграрной науки: традиции и перспективы: материалы IV национальной научно-практической конференции с международным участием. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 316-322.

12. Кончин, В. А. Обработки почвы и изменение конструктивных параметров лапы культиватора при абразивном износе в полевых условиях Центрального Черноземья / В. А. Кончин, Н. В. Долгополова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 4. – С. 45-52.

13. Плотность почвы как фактор плодородия при механизированной обработке / А. А. Коваль [и др.] // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, Рязань, 29 января 2025 года. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 26-32.

**УДК 621.317.7:57.087.5**

*Нагаев Н.Б., к.т.н.,  
Кленов Д.В.,  
Макаров Г.Н.,  
Паршин И.А.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕМЯН КАРТОФЕЛЯ**

Эффективность предпосевной обработки семян, включая применение импульсных электрических полей, в значительной степени определяется физиологическим состоянием семенного материала и реакцией растительных клеток на внешние электрофизические воздействия [1]. В современном научном понимании семя рассматривается не как статичный биологический объект, а как динамическая система, способная генерировать и перераспределять электрические сигналы, отражающие метаболическую активность, интенсивность дыхания, водопоглощение и состояние клеточных мембран.

Именно эта способность растительных тканей формировать электрические потенциалы — биопотенциалы — лежит в основе процессов биоэлектrogenеза. Биоэлектrogenез представляет собой совокупность процессов формирования и динамики электрических потенциалов в биологических системах, возникающих вследствие физиолого-биохимических реакций живых клеток [2]. Исследования механизмов биоэлектrogenеза в растительных тканях активно развиваются как отечественными, так и зарубежными учёными и имеют значимый потенциал для применения в агроинженерии, физиологии растений и диагностике посевных качеств семян [3].

Изучение биоэлектрической активности семян и проростков приобретает особую актуальность в связи с поиском экспресс-методов оценки их жизнеспособности, энергии прорастания и реакции на физические методы стимуляции.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что электрические параметры семян являются чувствительным индикатором физиологического состояния растительной ткани и могут служить объективным критерием оценки эффективности предпосевной обработки, включая воздействие импульсного электрического поля [4]. В этой связи глубокое понимание природы биоэлектrogenеза, механизмов формирования биопотенциалов и факторов, влияющих на их величину, является необходимым этапом для разработки новых диагностических и стимулирующих технологий в семеноводстве.

Биопотенциал определяется как разность электрических потенциалов между двумя точками растительной ткани, характеризующимися различной метаболической активностью [5]. Типичные значения биопотенциалов у растений составляют 50–200 мВ. Формирование этих потенциалов обусловлено асимметрией концентраций ключевых ионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$  и др.) по обе стороны клеточной мембраны, а также работой ионных насосов и мембранной проницаемостью.

Изменения биопотенциала являются реакцией на действие внешних факторов, таких как:

- температурные воздействия (нагрев, охлаждение);
- изменение освещённости;
- механические стимулы;
- электрические и магнитные поля;
- химические реагенты;
- гидратация семян;
- стрессовые воздействия.

Эти изменения регистрируются в виде распространённых колебательных процессов, которые записываются через усилительные системы и аналого-цифровые преобразователи [6]. Получаемые графические зависимости (электроплантаграммы) являются интегральным отображением биоэлектрической активности исследуемого объекта и позволяют судить о его физиологическом состоянии, подобно тому, как ЭКГ и ЭЭГ используются в физиологии животных.

Поскольку измерение ведётся не на уровне одной клетки, а на уровне группы тканей или целого проростка, сигнал отражает суммарный электрофизиологический отклик системы [7]. Это делает метод перспективным для оценки жизнеспособности семян и диагностики их посевных качеств.

Биоэлектрические реакции растений напрямую связаны с ключевыми физиологическими процессами:

- интенсивностью дыхания и метаболизма;
- скоростью и направлением водопоглощения;
- изменениями тургора;

- работой ионных насосов;
- зарождением и развитием ростовых процессов.

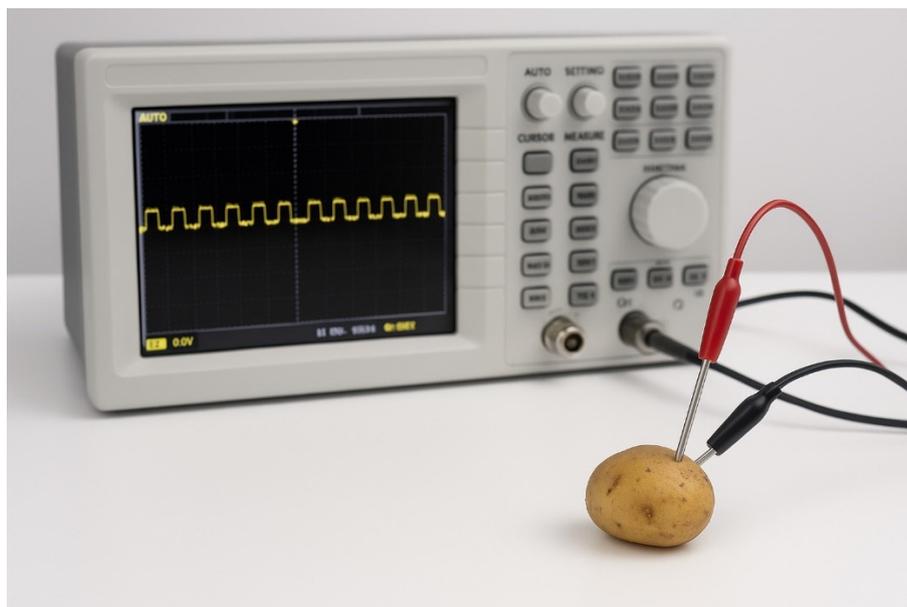


Рисунок 1 – Измерение электрических параметров биологического образца с использованием осциллографа

Более того, современная наука рассматривает биопотенциалы не только как побочный продукт биохимических реакций, но и как один из возможных механизмов внутрисистемной регуляции и межклеточной коммуникации [8].

Исследования последних лет показывают корреляцию между значениями биопотенциалов и лабораторной всхожестью семян (Н.Н. Марченко, С.П. Пронин, А.Г. Зрюмова, С.Н. Опритов, М.С. Рубцова). Н.В. Ксёنز, С.В. Качеишвили и И.Г. Сидорцов выявили связь биопотенциалов с интенсивностью водопоглощения и скоростью выхода из состояния покоя при воздействии электромагнитных полей.

Согласно исследованиям Н.Г. Холодного и Ф. Вента, электрические потенциалы растений тесно связаны с ростовыми реакциями и перераспределением гормонов. Работы В.Л. Успенской показывают зависимость биопотенциала от интенсивности фотосинтетически активной радиации [9-10].

А.В. Дубровин и Ю.Х. Шагенов предложили способ управления ростом растений в защищённом грунте посредством создания заданной разности потенциалов вдоль стебля — от корневой зоны («+») к верхушке («-»). При токах 0,001–1 мкА удавалось регулировать физиологическую активность растений и повышать их биологическую продуктивность.

Работы Т. Гун–Аажав и др. показали, что биопотенциалы могут быть использованы для диагностики морозо- и жароустойчивости, а также для оценки дыхательной активности семян через содержание  $\text{CO}_2$ .

Несмотря на обширный объём выполненных исследований, комплексных и стандартизованных методов диагностирования посевных качеств по биопотенциалам пока не сформировано. Отсутствует единый теоретический

аппарат, описывающий взаимодействие электрических полей с прорастающими семенами, а также специализированное оборудование, обеспечивающее воспроизводимость измерений.

Эти пробелы определяют необходимость дальнейшей разработки аппаратных средств, методик и диагностических алгоритмов, связывающих электрофизиологические параметры семян с их фактическими посевными качествами.

Проведённый патентный анализ показывает, что ключевой технологической задачей при регистрации биопотенциалов растений и прорастающих семян является создание надёжного, малошумящего и биосовместимого контактного узла — электрода. От качества электрического контакта и устойчивости фиксации зависит точность регистрации биоэлектрических сигналов, уровень помех, стабильность базовой линии и воспроизводимость измерений.

Наиболее распространённым типом контактов, применяемых в биоэлектрических измерениях, являются хлорсеребряные электроды (Ag/AgCl). Их использование обусловлено низкой поляризацией, стабильностью потенциала и высокой химической инертностью. Такие электроды применяются в устройствах Шабалы С.Н., Маслоброта С.Н., где регистрация биопотенциалов осуществляется между верхушечной частью растения и почвой. Один электрод типа ХСВ-1 фиксируется в надземной части, а второй — в грунте, обеспечивая относительно стабильную референтную точку. Недостатком метода является зависимость качества контакта от влажности почвы, температуры и внешних факторов.

Система штанговых и кисточковых электродов Рубцовой М.С., Кузнецовой Т.Н., Швецова Г.А. и Опритова А.В. предусматривает использование хлорсеребряных кисточковых электродов, один из которых неподвижен, а второй оснащён микровыключателем. Конструкция позволяет фиксировать мгновенные значения напряжения между различными точками растения. Сигнал подаётся на усилитель и интегрируется в систему автоматизированного сбора данных. Существенным недостатком является требование к высокой точности размещения исследуемого объекта в пазу, а также контактное давление, которое может приводить к механическому повреждению тканей.

В работе Рубцовой М.С., Лебедева О.Р. и Таовой Л.А. предложены мягкие электродные элементы на основе верблюжьей шерсти, смоченной водой это контактные электроды на основе гидрофильных материалов. Такой контакт обеспечивает достаточную электрическую связь с зародышем семени и эндоспермом. Метод позволил выявить синхронизацию изменений биопотенциалов и АТФ-фазной активности. Однако стабильность водного контакта ограничена во времени, а электроды чувствительны к высыханию и температуре.

Медвецкий В.И. и Петрушенко В.В. разработали систему с двумя кюветами, наполненными контактным раствором и хлорсеребряными

электродами. Конструкция предусматривает фиксацию растительных тканей в жидкой среде. Недостатками являются:

- необходимость поддержания температуры раствора 50–60 °С;
- снижение температуры в ходе эксперимента, что приводит к дрейфу показаний;
- усложнённая конструкция корпуса и низкая технологичность при длительных измерениях.

В патенте С.П. Пронина и Н.Н. Барышевой предложен метод оценки всхожести пшеницы по мембранному потенциалу замоченных семян. Электрод-игла протыкает боковую поверхность зерновки, а второй контакт создаётся через зажим. Недостатки метода:

- отсутствие механизма дозированного давления зажима;
- риск разрушения слабых или повреждённых семян;
- невозможность выборочной оценки потенциала в определённой локальной области;
- отсутствие ограничения глубины прокола.

Эти конструктивные недостатки серьёзно ограничивают универсальность метода для широкого диапазона культур, особенно для малых семян.

Ряд авторов предлагает использовать неокисляющиеся материалы или оптические методы, например:

- устройства на основе волоконно-оптических преобразователей (А.Ф. Алейников, М. Мухитдинов, Э.С. Мусаев), где биопотенциалы определяются косвенно через параметры импеданса тканей;
- комбинированные схемы с фотодиодами и светодиодами для оценки влажности, температуры и характеристик поверхности.

Несмотря на интересные инженерные решения, такие методы отличаются высокой сложностью, ограниченной областью применения и недостаточной чувствительностью к малым изменениям биопотенциалов.

Обзор существующих устройств и электрических контактов выявил следующие системные проблемы:

1. Отсутствие надёжного промышленного решения для фиксации семян и проростков при регистрации биопотенциалов.
2. Высокая зависимость качества контакта от внешних факторов (влажность, температура, механическое давление).
3. Сложность и громоздкость лабораторных конструкций, что препятствует их внедрению в производство.
4. Отсутствие миниатюрных электродов, работающих в условиях закрытого грунта и рассчитанных на длительный мониторинг.
5. Недостаток стандартизированных измерительных узлов, обеспечивающих стабильность нулевой линии и высокое отношение сигнал/шум.

Эти ограничения свидетельствуют о необходимости разработки компактного, безопасного и технологически простого устройства для измерения биопотенциалов в условиях закрытого грунта, обладающего устойчивым контактом, автоматизацией и высокой точностью регистрации.

Анализ научных данных о механизмах биоэлектrogenеза у семян и растений показывает, что электрическая активность растительной ткани является важным функциональным индикатором её физиологического состояния. Биопотенциалы, формируемые в результате градиента ионных концентраций на клеточных мембранах, отражают динамику ключевых процессов — водопоглощения, дыхания, метаболической активности, реакции на стрессовые воздействия и начало прорастания. Именно эта чувствительность делает биоэлектрические параметры перспективной основой для разработки экспресс-методов оценки жизнеспособности и посевных качеств семян, особенно в условиях необходимости оперативного контроля эффективности предпосевной обработки, включая воздействие импульсного электрического поля.

Одновременно выявлено, что существующие технические средства для регистрации биопотенциалов растительных тканей, описанные в патентной и научной литературе, характеризуются рядом существенных недостатков: сложность конструкции, отсутствие удобных и безопасных средств фиксации семян, нестабильность контакта электродов, ограниченные возможности измерения в малых областях ткани и высокая зависимость измерительных результатов от внешних факторов. Эти ограничения в значительной степени препятствуют широкому внедрению методов биопотенциометрии в практику семеноводства и растениеводства.

Проведённый анализ показывает необходимость разработки новых специализированных устройств и электродов, адаптированных для неразрушающего, стабильного и высокоточного съёма биопотенциалов с прорастающих семян и молодых растений. Такие устройства должны обеспечивать надёжную фиксацию исследуемого объекта, стабильность электрического контакта, защиту от внешних электромагнитных помех и интеграцию с автоматизированными системами обработки данных.

В совокупности результаты исследования подтверждают, что биоэлектрические методы оценки семян обладают значительным научным и практическим потенциалом, однако их дальнейшее развитие требует создания новой аппаратной платформы и углубления исследований механизмов формирования биопотенциалов под влиянием электромагнитных воздействий. Эти выводы определяют необходимость разработки современных технических решений, которые позволят интегрировать методы биопотенциометрии в технологии предпосевной обработки, включая обработку импульсным электрическим полем, и обеспечить переход к высокоточным, экспрессным и автоматизированным способам оценки посевного материала.

### ***Библиографический список***

1. Повышение эффективности предпосевной обработки семян путем облучения ультрафиолетовой светодиодной установкой в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, А. С. Красников, А. А. Жильцова, А. А. Калмыков // Приоритетные направления научно-технологического развития

агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 315-319.

2. Обзор существующих способов обеззараживания зерна на линиях послеуборочной обработки / Д. О. Иванова, Я. А. Брюхин, Н. Б. Нагаев, А. В. Винников // Новации как стратегическое направление механизации и автоматизации сельского хозяйства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007). – Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 59-64.

3. Анализ способов повышения равномерности нагрева семян рапса в рабочей камере СВЧ-устройства / Н. Б. Нагаев, С. В. Шульженко, Г. Н. Макаров, И. А. Паршин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 3(22). – С. 109-116.

4. Определение теплофизических характеристик воскового сырья / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : Сборник трудов научных чтений Посвящается памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКСР, академика Якова Васильевича Бочкарева, Рязань, 01 января – 31 2014 года / Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. Том Выпуск 11. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 137-142.

5. Спектральный состав излучения комбинированных облучательных приборов для сельского хозяйства / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 118-124.

6. Повышение энергоэффективности облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Д. В. Сусов, А. А. Тельнова, Ю. А. Рубина // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 136-142.

7. Нагаев, Н. Б. Анализ влияния различных факторов на повышение энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Ю. А. Рубина, Е. В. Кондрашов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 73-77.

8. Обзор влияния различных факторов освещения и облучения на производственные процессы предприятий АПК / Н. Б. Нагаев, Н. Е. Лузгин, П. А. Сашенкова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 86-91.

9. Исследование электрофизических параметров комбикорма / Н. Б. Нагаев, Д. В. Кленов, А. С. Малянов [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 125-130.
10. Определение параметров светодиодной осветительной системы для облучения сельскохозяйственных животных / Н. Б. Нагаев, А. А. Татаринцов, М. А. Левин [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 131-136.
11. Инновационные элементы агротехнологий возделывания картофеля в Нечерноземной зоне России / М. М. Крючков, Д. В. Виноградов, Н. В. Бышов [и др.]. – Рязань: РГАТУ, 2018. – 181 с.
12. Виноградов, Д. В. Экология агроэкосистем / Д. В. Виноградов, А. В. Ильинский, Д. В. Данчеев. – Рязань, 2020. – 256 с.
13. Совершенствование предпосадочной подготовки семенного картофеля с помощью автоматизированных расчетов / Д.В. Колошеин, А.А. Назарова, А.С. Попов, Е.А. Лазарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 209. - С. 554-562.
14. Повышение эффективности уборки картофеля в условиях пониженной влажности : / И. В. Лучкова, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] ; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. – Рязань : РГАТУ, 2022. – 148 с.
15. Левин, В. И. Устойчивость клубней при послеуборочном хранении в зависимости от агротехнологии выращивания картофеля / В. И. Левин, Л. А. Антипкина // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 27 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 83-87.
16. Уборка и хранение картофеля: отдельные аспекты / И.В. Лучкова, Д.В. Колошеин, Г.В. Калинина [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 175. – С. 91-100.
17. Мелешков, С. И. Конструкция защитного кожуха для карданной передачи разбрасывателей минеральных удобрений / С. И. Мелешков, В. А. Кончин // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года / Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова. – Курск, 2025. – С. 17-21.
18. Перспективы картофелеводства в Рязанском АПК / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович, А. А. Желтоухов // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 17-18.

*Нагаев Н.Б., к.т.н.,  
Лузгин Н.Е., к.т.н.,  
Хотько А.А.,  
Макаров Г.Н.,  
Бурова К.Д.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА**

Одним из ключевых направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства является обеспечение максимально возможной продуктивности выращиваемых культур путём применения современных технологических решений. Существенное влияние на последующий урожай оказывает качественно выполненная предпосевная обработка семян, которая рассматривается как один из наиболее результативных и технологически адаптивных способов подготовки посадочного материала. Важным преимуществом данного подхода является его совместимость с существующими схемами полевого производства, а также возможность интеграции с протравливанием семян в рамках единой технологической линии.

Применение ультрафиолетового облучения на этапе предпосевной подготовки способствует повышению посевных качеств семенного материала, обеспечивает частичную дезинфекцию поверхности и создаёт оптимальные условия для последующего роста растений и формирования урожая. Для того чтобы предпосевная обработка обеспечивала ожидаемый агрономический эффект, необходимо выполнение ряда требований:

- обеспечение стимулирующего воздействия на биологическое развитие растений в ранние фазы вегетации;
- эффективное подавление патогенной микрофлоры и снижение риска поражения болезнями;
- экологическая безопасность метода и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду;
- отсутствие побочных эффектов, приводящих к угнетению роста, снижению урожайности или возникновению генетических нарушений;
- экономическая целесообразность применения метода в хозяйствах различного масштаба;
- технологическая простота, позволяющая внедрять метод без существенного изменения производственных процессов.

Как правило, предпосевная обработка и дезинфекция являются заключительными операциями в комплексе мероприятий по подготовке семян к посеву. Современные методы подготовки можно классифицировать на три основные группы: физические, химические и биологические (рис.1). Эти категории охватывают широкий спектр технологических решений,

применяемых в зависимости от особенностей культуры, типа семенного материала и условий производства [1].

Биологический метод предпосевной подготовки включает замачивание семян в витаминных экстрактах группы В, а также в растворах окислительно-восстановительных ферментов, способствующих активации метаболических процессов. Однако данный способ имеет ряд ограничений: сложность получения и стандартизации биологически активных веществ, вариативность реакции семян различных культур и партий по качеству, а также низкая технологическая адаптируемость, затрудняющая его широкое промышленное применение [2].

Физические методы предпосевной обработки семян представляют собой область технологий, основанную на воздействии физических факторов на биологическую структуру семян с целью активации метаболических процессов, дезинфекции поверхности и повышения физиологической активности посадочного материала. Данные методы привлекают внимание благодаря своей экологической безопасности, отсутствию остаточных токсичных соединений и возможности точного дозирования воздействующего фактора [3]. В отличие от химических способов, физические методы не формируют устойчивых загрязняющих веществ и легко интегрируются в существующие технологические линии [4].

К числу наиболее распространённых физических методов относятся: термическая обработка, гидротермическая обработка, обработка электромагнитными полями различных диапазонов (включая ультрафиолетовое, инфракрасное, СВЧ и плазменное воздействие), механическая скарификация, обработка акустическими волнами, ионизирующим излучением и воздействие статического или импульсного электрического поля. Эти способы различаются уровнем энергии, глубиной проникновения и специфичностью влияния на структуры семени, что позволяет подобрать оптимальный метод для конкретной культуры [5].

Ультрафиолетовое облучение занимает особое место среди физических методов благодаря сочетанию стимулирующего и бактерицидного эффектов. УФ-излучение, воздействуя на покровные ткани семян, повышает проницаемость клеточных мембран, активирует ферментативные системы, участвует в запуске процессов фотохимической активации. При этом коротковолновое УФ-излучение (спектр УФ-С) обеспечивает высокую эффективность подавления фитопатогенной микрофлоры, что делает метод двойного назначения — как стимуляционный, так и дезинфицирующий. Использование светодиодных источников ультрафиолета позволило значительно повысить точность дозирования и обеспечить стабильность воздействия при низком энергопотреблении [6].

Термические методы включают сухой прогрев, гидротермическую обработку и аэротермическое кондиционирование, применяемое преимущественно для зерновых культур. Они обеспечивают повышение энергии прорастания и подавление части вредоносных организмов, однако

требуют точного контроля температуры, поскольку перегрев приводит к повреждению семенной оболочки и снижению жизнеспособности [7].

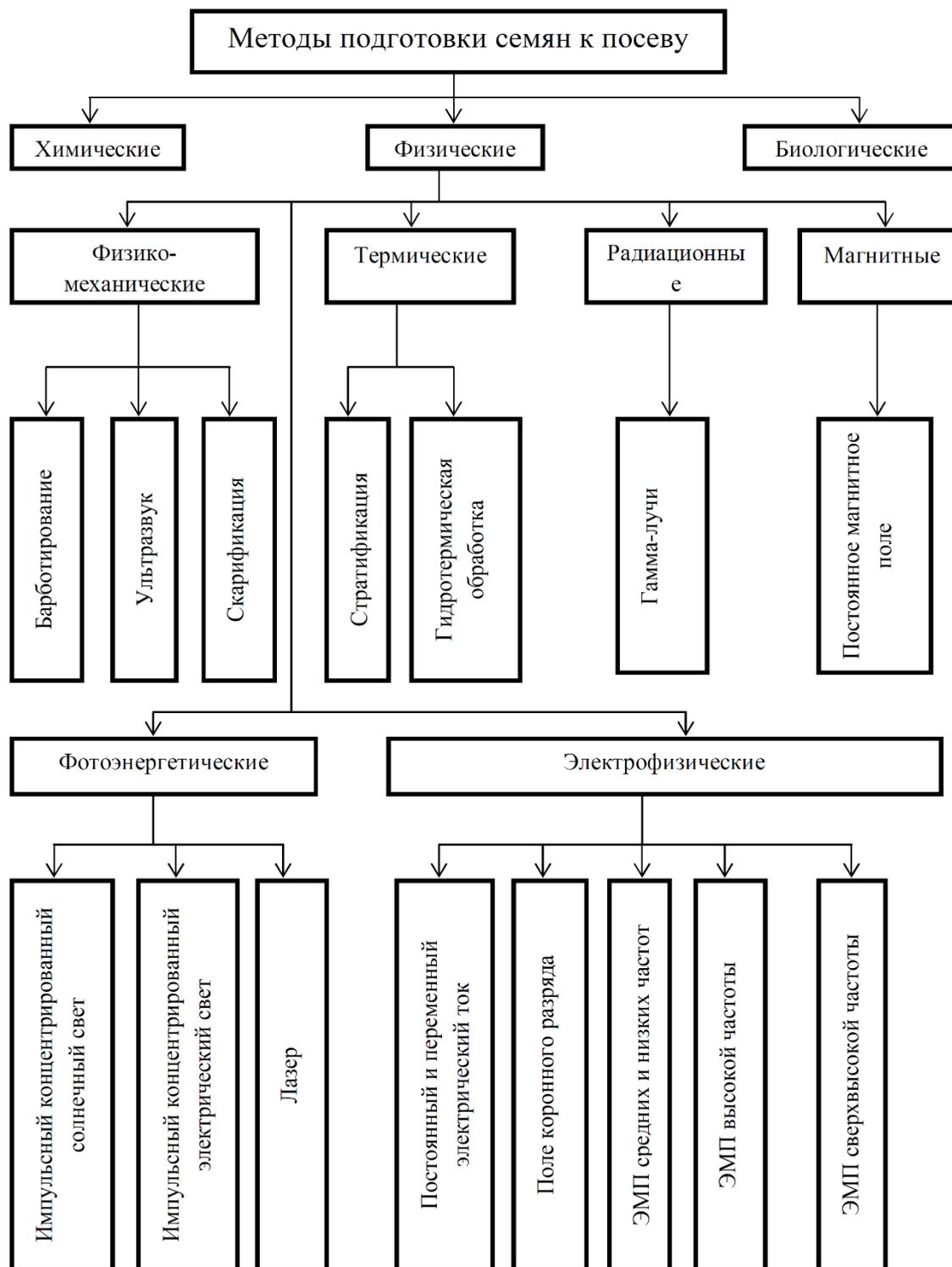


Рисунок 1 – Методы подготовки семян к посеву

Обработка семян электромагнитными полями (СВЧ, НЧ, ИК) используется для стимуляции обменных процессов и изменения

гидратационного состояния семенной оболочки. Несмотря на эффективность, данный метод предъявляет высокие требования к равномерности распределения поля, что усложняет конструкцию оборудования [8-9].

Механическая скарификация находит применение у культур с плотной и твёрдой семенной оболочкой. Она обеспечивает ускорение водопоглощения и активизацию обменных процессов, но не подходит для мелких и хрупких семян, таких как семена хвойных пород.

Ионизирующее излучение (гамма-, бета-лучи) демонстрирует высокую эффективность в дезинфекции и активации метаболизма, однако требует специализированного оборудования, лицензирования и строгого контроля радиационного воздействия, что ограничивает его применение в аграрной практике.

Таким образом, физические методы предпосевной обработки семян представляют собой функционально разнообразный комплекс технологических подходов, обладающих высокой экологической безопасностью и значительным потенциалом для применения в промышленном растениеводстве. Среди них ультрафиолетовое воздействие является одним из наиболее технологичных и гибких способов, позволяющих реализовать точное дозирование и адаптацию параметров под конкретную культуру.

Химические методы предпосевной обработки семян остаются одним из наиболее широко применяемых направлений в агротехнологиях благодаря способности обеспечивать комплексную защиту семенного материала от фитопатогенов, а также регулировать физиологические состояния семян перед посевом. В основе химических методов лежит применение протравителей, стимуляторов роста, микроэлементных смесей, регуляторов гормональной активности и антисептических составов, оказывающих воздействие на структуру семенной оболочки и биохимические процессы внутри семени. Наиболее распространёнными являются фунгицидные и инсектицидные протравители, обеспечивающие уничтожение или подавление патогенной микрофлоры, а также защиту проростков на ранних этапах развития.

Современные химические протравители включают активные вещества системного, контактного или комбинированного действия, обеспечивающие широкий спектр защиты. Контактные препараты действуют преимущественно на поверхности семени, предотвращая развитие плесени и бактериальных инфекций. Системные протравители способны проникать в ткани семени и обеспечивать пролонгированную защиту проростков. Однако эффективность методов зависит от качества покрытия и равномерности нанесения рабочих растворов, что требует применения специализированного оборудования, в том числе барабанных, камерных или шнековых протравливателей.

Отдельным направлением является использование регуляторов роста и стимуляторов, содержащих цитокинины, ауксины, гиббереллины, аминокислоты, органические кислоты или комплексы микроэлементов. Эти вещества активируют метаболические процессы, ускоряют водопоглощение, повышают энергию прорастания и обеспечивают более интенсивное развитие корневой системы. Несмотря на высокую эффективность, химические

стимуляторы требуют строгого контроля дозировки, поскольку превышение рекомендуемых концентраций может привести к угнетению роста и снижению жизнеспособности семян.

Применение химических препаратов связано и с рядом ограничений. Во-первых, многие действующие вещества токсичны и требуют соблюдения норм промышленной и экологической безопасности. Во-вторых, часть протравителей подвержена процессам биodeградации, что снижает длительность защитного эффекта. Кроме того, повторное применение одних и тех же химических групп может приводить к развитию устойчивости фитопатогенов, что снижает общую эффективность обработки. Химический метод также требует создания условий, исключающих загрязнение окружающей среды и рабочей зоны, а также использования средств индивидуальной защиты.

Несмотря на указанные ограничения, химические методы остаются важным инструментом при подготовке семян, особенно в производственных системах, где ожидается повышенная фитосанитарная нагрузка. Однако в условиях экологических требований и переориентации аграрных практик на снижение химической нагрузки всё больший интерес вызывают физические методы, в том числе ультрафиолетовое облучение. Они позволяют частично заменить или дополнить химическую защиту, обеспечивая комбинированный эффект дезинфекции и стимуляции без риска накопления токсичных остатков.

Ультрафиолетовое облучение представляет собой один из наиболее перспективных и технологически эффективных физических методов предпосевной обработки семян, основанный на воздействии электромагнитного излучения коротковолновой области спектра. УФ-излучение обладает уникальной комбинацией фотостимулирующих и бактерицидных свойств, что позволяет использовать его одновременно для активации физиологических процессов в семени и для подавления фитопатогенной микрофлоры, присутствующей на поверхности посадочного материала. В отличие от химических протравителей, ультрафиолетовое воздействие не оставляет токсичных остатков, не вызывает загрязнения окружающей среды и может быть интегрировано в технологические линии в качестве экологически безопасного метода стимуляции.

Механизм действия ультрафиолетового облучения определяется длиной волны и дозой энергии, поглощаемой биологическими структурами. В диапазоне УФ-С (около 260–280 нм) происходит активное разрушение ДНК и белковых структур микроорганизмов, что обеспечивает выраженный дезинфицирующий эффект. Данный диапазон используется для снижения риска развития заболеваний на ранних фазах роста, а также для частичного обеззараживания поверхности семян. В диапазоне УФ-В (280–320 нм) наблюдаются процессы биостимуляции, связанные с активацией ферментативных систем, повышением проницаемости клеточных мембран и усилением обменных процессов. При правильно подобранной дозе УФ-облучение способствует ускорению набухания семян, увеличению энергии прорастания, синхронности развития проростков и повышению устойчивости растений на ранних этапах онтогенеза.

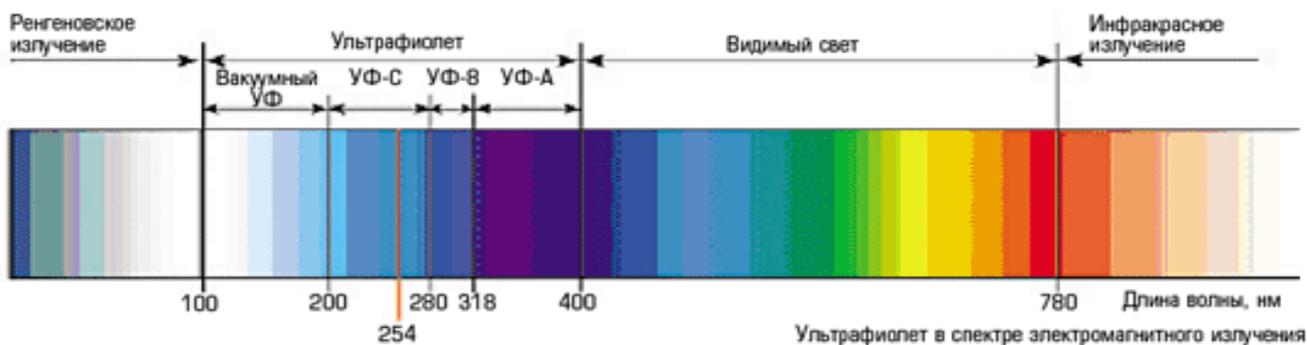


Рисунок 2 – Ультрафиолетовое излучение в спектре электромагнитных колебаний

Ключевым фактором эффективности ультрафиолетовой обработки является точность дозирования. Недостаточное облучение приводит к слабовыраженному эффекту стимуляции, тогда как превышение оптимальной дозы вызывает фотодеструктивные процессы, повреждение покровных тканей, снижение энергии прорастания и замедление развития проростков. Это обуславливает необходимость использования оборудования, способного обеспечивать стабильный УФ-поток с контролируемыми параметрами и корректировкой дозы в зависимости от изменения мощности источников излучения или температуры.

Современные технические решения для реализации УФ-обработки базируются преимущественно на применении светодиодных источников ультрафиолета. УФ-LED обладают рядом преимуществ по сравнению с газоразрядными и ртутно-кварцевыми лампами: высокой энергоэффективностью, узкополосностью спектра, низким тепловыделением, мгновенным выходом на рабочую мощность и длительным сроком службы без резких скачков интенсивности. Светодиодные системы позволяют реализовать точные дозировочные алгоритмы, обеспечивать равномерность распределения потока по рабочей поверхности и безопасную эксплуатацию без выделения озона.

Положительное влияние ультрафиолетового излучения на семена подтверждено многочисленными исследованиями, демонстрирующими увеличение всхожести, ускорение биохимических процессов в зародыше и снижение микробной контаминации. Особенно эффективно УФ-воздействие проявляется на семенах с прозрачной или полупрозрачной покровной оболочкой, характерной для многих хвойных культур, включая тую. Такая структура облегчает проникновение УФ-лучей к внутренним тканям семени, что усиливает стимулирующий эффект.

В совокупности ультрафиолетовое облучение является технологически перспективным и экологически ориентированным методом предпосевной обработки, который позволяет объединить функции стимуляции и дезинфекции без ущерба для окружающей среды. Точная дозировка, высокая воспроизводимость результата и возможность интеграции в автоматизированные линии делают УФ-метод важным инструментом

современного растениеводства, особенно в условиях необходимости уменьшения химической нагрузки на агроэкосистемы.

Анализ существующих способов предпосевной обработки семян показал, что эффективность данного технологического этапа напрямую определяет последующую всхожесть, энергию прорастания и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Среди применяемых в растениеводстве методов — физических, химических и биологических — наибольший интерес в настоящее время представляют физические воздействия, обеспечивающие экологическую безопасность, технологичность и возможность точного управления параметрами обработки.

Биологические методы, несмотря на их естественную основу, ограничены сложностью получения и нестабильностью состава биологически активных растворов, а также трудностью стандартизации результатов. Химические способы обладают высокой эффективностью дезинфекции и стимуляции, однако сопровождаются риском накопления токсичных соединений и развитием устойчивости микроорганизмов, что снижает экологическую и технологическую устойчивость таких решений.

Физические методы, напротив, обеспечивают контроль параметров воздействия и могут быть реализованы в автоматизированных установках. Среди них ультрафиолетовое облучение является наиболее сбалансированным с точки зрения энергетических затрат, безопасности и эффективности. Оно объединяет две функции — стимуляцию биохимических процессов в семенах и обеззараживание их поверхности без применения химических реагентов. Правильно подобранная доза УФ-облучения активизирует ферментативные системы, ускоряет гидратацию и повышает жизнеспособность зародыша, не вызывая фотодеструктивных эффектов.

Таким образом, систематизация методов предпосевной подготовки семян позволяет заключить, что ультрафиолетовое облучение — один из наиболее перспективных направлений в физической обработке семенного материала, обеспечивающий повышение посевных качеств и снижение фитосанитарных рисков при полном соответствии современным требованиям энергоэффективности и экологической безопасности. Развитие этого метода связано с внедрением светодиодных источников УФ-излучения и микропроцессорных систем дозирования, позволяющих обеспечить стабильность, воспроизводимость и автоматизацию технологического процесса.

### ***Библиографический список***

1. Повышение эффективности предпосевной обработки семян путем облучения ультрафиолетовой светодиодной установкой в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, А. С. Красников, А. А. Жильцова, А. А. Калмыков // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 315-319.

2. Обзор существующих способов обеззараживания зерна на линиях послеуборочной обработки / Д. О. Иванова, Я. А. Брюхин, Н. Б. Нагаев, А. В. Винников // Новации как стратегическое направление механизации и автоматизации сельского хозяйства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007). – Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 59-64.

3. Анализ способов повышения равномерности нагрева семян рапса в рабочей камере СВЧ-устройства / Н. Б. Нагаев, С. В. Шульженко, Г. Н. Макаров, И. А. Паршин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 3(22). – С. 109-116.

4. Определение теплофизических характеристик воскового сырья / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : Сборник трудов научных чтений Посвящается памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКС, академика Я.В. Бочкарева, Рязань, 01 января – 31 2014 года. Том Выпуск 11. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 137-142.

5. Спектральный состав излучения комбинированных облучательных приборов для сельского хозяйства / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 118-124.

6. Повышение энергоэффективности облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Д. В. Сусов, А. А. Тельнова, Ю. А. Рубина // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 136-142.

7. Нагаев, Н. Б. Анализ влияния различных факторов на повышение энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Ю. А. Рубина, Е. В. Кондрашов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 73-77.

8. Обзор влияния различных факторов освещения и облучения на производственные процессы предприятий АПК / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 86-91.

9. Исследование электрофизических параметров комбикорма / Н. Б. Нагаев, Д. В. Кленов, А. С. Малянов [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 125-130.

10. Определение параметров светодиодной осветительной системы для облучения сельскохозяйственных животных / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической

конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 131-136.

11. Ступин, А. С. Комплексная антистрессовая защита зерновых культур при контрастных погодных условиях / А. С. Ступин, В. И. Левин // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 55-60.

12. Патент на полезную модель № 208372 U1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для стимулирования семян к прорастанию : № 2021123277 : заявл. 02.08.2021 : опубл. 15.12.2021 / Д. В. Виноградов, Е. И. Лупова, В. А. Грязин [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

13. Совершенствование предпосадочной подготовки семенного картофеля с помощью автоматизированных расчетов / Д.В. Колошеин, А.А. Назарова, А.С. Попов, Е.А. Лазарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 209. - С. 554-562.

14. Методы обеззараживания семян сельскохозяйственных культур / С. О. Фатьянов, Д. Е. Каширин, А. С. Морозов, В. С. Тетерин // Молодёжная наука для решения актуальных задач АПК : Всероссийский молодёжный научный форум, посвященный 45-летию Студенческого конструкторского бюро ФГБОУ ВО РГАТУ, Рязань, 20–21 февраля 2025 года. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 113-118.

15. Левин, В. И. Изменение эффекта радиостимуляции в зависимости от сроков хранения и их физико-механических свойств  $\gamma$ -облученных семян ячменя / В. И. Левин, Т. В. Хабарова // Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона : Материалы 66-й Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию со дня рождения профессора Павла Андреевича Костычева: в 3-х частях, Рязань, 14 мая 2015 года. Том Часть I. – Рязань: РГАТУ, 2015. – С. 137-138.

16. Кистанова, С.А. Влияние инноваций на рост производительности труда в экономике / С.А. Кистанова, И.В. Чивилева, А.Б. Мартынушкин // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 136-140.

17. Мелешков, С. И. Новые конструкции машин с горизонтально-роторными режущими аппаратами / С. И. Мелешков, В. А. Кончин // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года / Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова. – Курск, 2025. – С. 65-70.

18. Анализ средств оптического облучения рассады овощей в теплице / А. Д. Прошлякова, С. О. Фатьянов, А. С. Морозов, Н. Е. Лузгин // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора А.А. Сорокина, Рязань, 24 января 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 129-135.

*Нагаев Н.Б., к.т.н.,  
Хотько А.А.,  
Макаров Г.Н.,  
Бурова К.Д.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **РАЗВИТИЕ И ИНТЕГРАЦИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ СИСТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН**

Современные технологии предпосевной подготовки семян стремительно развиваются в направлении повышения эффективности воздействия на семенной материал при одновременном снижении экологической нагрузки и энергопотребления. Основным трендом последних лет является переход от традиционных химических методов, сопровождающихся использованием токсичных протравителей, к физическим и биофизическим способам обработки, которые позволяют значительно повысить энергию прорастания и устойчивость растений без образования вредных остатков и риска формирования устойчивых форм патогенов. К числу таких технологий относятся обработка ультрафиолетовым излучением, воздействие импульсными электрическими полями, плазменная активация, применение светодиодных спектральных систем, а также комплексные методы, объединяющие сразу несколько физических факторов.

Особое внимание уделяется разработке и внедрению технологий точного дозирования энергии, обеспечивающих контролируемый отклик семян и воспроизводимые результаты в условиях промышленного выращивания. Это обусловлено тем, что большинство физических воздействий оказывает нелинейное влияние на биологические процессы: стимулирующий эффект реализуется только в узком диапазоне доз, превышение которого приводит к фотодеструктивным или термическим повреждениям. В связи с этим возрастает необходимость в создании автоматизированных систем управления, способных корректировать параметры обработки в реальном времени, учитывая изменения мощности источников, температуру рабочей зоны и характеристики конкретной партии семенного материала.

Широкое распространение получают светодиодные системы фотостимуляции, работающие в узких диапазонах спектра (УФ-С, УФ-В, синий, красный и дальнекрасный свет). Применение LED-источников позволяет обеспечить заданную интенсивность и спектральный состав, существенно снизить энергопотребление и реализовать высокоточное микропроцессорное управление. Кроме того, светодиодные системы обладают высокой долговечностью и не требуют сложной утилизации, что делает их приоритетными в аграрных технологиях будущего.

Перспективным направлением является плазменная обработка семян, при которой активные частицы низкотемпературной плазмы изменяют

гидрофильность семенной оболочки, повышают скорость водопоглощения и обеспечивают дезинфекцию поверхности. Метод демонстрирует высокую эффективность для культур с плотной или восковой покровной оболочкой, однако его промышленное внедрение требует дальнейшего совершенствования оборудования и снижения энергоёмкости.

Значительный интерес представляет технология импульсного электрического поля (PEF), воздействующая на клеточные структуры и способная изменять проницаемость мембран без теплового повреждения тканей. Данный метод рассматривается как энергетически эффективная альтернатива химическим протравителям, особенно для культур с выраженной устойчивостью к стимуляторам роста.



Рисунок 1– Общий вид растений, выращенных при сочетании дневного света и УФ излучения

Современные исследования также сосредоточены на разработке комбинированных методов, объединяющих физические и биохимические воздействия, например: УФ-облучение + микроэлементные стимуляторы, плазма + гидратация, импульсное поле + инфракрасная сушка. Такие комплексные подходы обеспечивают синергетический эффект, ускоряя фазу активации зародыша и повышая устойчивость будущих растений к стрессовым факторам среды.

Отдельное направление развития связано с применением цифровых технологий (AgroTech / Agro 4.0), включающих мониторинг качества семян, адаптивное управление режимами обработки, машинное обучение для определения оптимальных параметров воздействия и интеграцию всего процесса в единую информационную платформу. В современных установках реализуются функции автоматической калибровки датчиков, коррекции

мощности излучения, ведения журнала обработки и анализа данных для повышения точности прогнозирования результатов.

Таким образом, современные направления развития предпосевной обработки семян ориентированы на повышение эффективности воздействий, минимизацию экологических рисков и внедрение интеллектуальных систем управления, обеспечивающих точное и безопасное воздействие на семенной материал. В этом контексте ультрафиолетовая обработка, особенно на основе светодиодных источников и микропроцессорной коррекции дозы, является одним из наиболее прогрессивных, перспективных и технологичных решений, отвечающих требованиям устойчивого сельского хозяйства.

Предпосевная обработка семенного материала является критически важным технологическим этапом, определяющим энергетический потенциал прорастания, устойчивость растений в начальные фазы вегетации и формирование будущей урожайности. Анализ научных и производственных источников показывает, что эффективность предпосевной подготовки в наибольшей степени зависит от выбранного способа воздействия на семена и точности соблюдения технологических параметров обработки. Наиболее распространённые подходы к предпосевной подготовке систематически объединяются в три группы: физические, химические и биологические методы, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения с точки зрения технологичности, экологической безопасности и степени влияния на физиологические процессы в семени.

Исследовательские работы последних десятилетий указывают, что сочетания доз УФ-А и УФ-В позволяют оптимизировать ростовые реакции растений. Вегетативные органы, развивающиеся из семян, обработанных малыми или средними физиологическими дозами УФ, проявляют повышенную скорость биосинтетических процессов, улучшенную ассимиляцию углекислого газа, более активный синтез хлорофилла и выраженное накопление азота и фосфора в тканях. При этом чрезмерные дозы УФ-излучения вызывают ингибирование роста и подавление ферментативной активности, что подчёркивает важность точного дозирования при предпосевной обработке.

Особого внимания заслуживает влияние ультрафиолета на накопление защитных веществ. Под воздействием УФ-В в растительных тканях значительно увеличивается синтез каротиноидов и антоцианов — природных пигментов, выполняющих функцию фотопротекторов и антиоксидантов. Эти соединения предотвращают повреждение клеточных структур активными формами кислорода, стабилизируют фотосистемы и повышают общий физиологический тонус растения. Одновременно наблюдается рост содержания вторичных метаболитов, включая фитонциды, эфирные масла, терпеновые соединения и алкалоиды, что положительно влияет на устойчивость растений к патогенным микроорганизмам и неблагоприятным факторам среды.

Экспериментальные данные по зерновым культурам также подтверждают эффективность УФ-воздействия. Исследования, выполненные на ячмене, показали увеличение урожайности, числа продуктивных стеблей и улучшение массы 1000 семян при дозах 3–4 кДж/м<sup>2</sup>. Аналогичные результаты получены и

для других культур: у овса и ржи оптимальный стимуляционный эффект достигается при дозе 3 кДж/м<sup>2</sup>, у пшеницы максимальный ростовой отклик наблюдается при дозе 7,5 кДж/м<sup>2</sup>, а у гречихи — при 5 кДж/м<sup>2</sup>. Эти результаты позволяют заключить, что оптимальная величина дозы определяется анатомо-физиологическими особенностями культуры, её естественной светочувствительностью и степенью поглощения УФ-излучения покровными тканями семени. При этом отмечается, что культуры, растущие ближе к поверхности почвы или имеющие более тонкую семенную оболочку, требуют меньших доз УФ, поскольку естественные условия делают их более чувствительными к избыточному излучению.

Биологический отклик растений, семена которых подвергались оптимальной дозе ультрафиолета, выражается в ускоренном развитии корневой системы, увеличении количества листьев, формировании более мощной фотосинтетической поверхности и повышенной устойчивости к инфекционным агентам. Например, предпосевная обработка томатов увеличивает энергию прорастания на 6–10 %, а обработка семян капусты способствует формированию более развитой листовой массы и обеспечивает увеличение урожайности в открытом грунте на 24–29 % и в защищённом – до 78 %. Немаловажно, что эти эффекты достигаются без применения химических стимуляторов и токсичных протравителей, что делает технологию экологически безопасной.

Таким образом, физиологическое действие ультрафиолетового излучения на семена растений представляет собой совокупность взаимосвязанных биофизических и биохимических процессов, направленных на активацию роста, повышение жизнеспособности проростков и улучшение структурно-функционального состояния семенного материала. Контролируемое использование УФ-облучения обеспечивает не только дезинфекцию и подавление патогенной микрофлоры, но и стимулирование внутренних механизмов роста, что делает ультрафиолетовое воздействие одним из наиболее перспективных методов предпосевной обработки в современном растениеводстве.

Развитие технологий предпосевной обработки семенного материала сопровождается последовательным переходом от преимущественно химических методов к физическим, ориентированным на снижение энергоёмкости, повышение технологичности и обеспечение экологической безопасности производства. В условиях возрастающих требований к качеству семян и ограничений на использование токсичных протравителей особый интерес представляют установки ультрафиолетового облучения, позволяющие сочетать дезинфицирующее действие и стимулирующие эффекты без образования вредных остатков. Анализ литературных и патентных источников показывает, что за последние десятилетия разработано значительное число технических решений, различающихся конструктивным исполнением, типом источников излучения, способом транспортировки семян и методами дозирования УФ-энергии.

Классическим вариантом является использование ртутно-кварцевых ламп высокого давления, обеспечивающих широкий спектр излучения с выраженной бактерицидной составляющей. Исторически первые установки представляли собой системы с неподвижными лампами и вибрационными или ленточными транспортёрами, по которым семена перемещались под УФ-поток. Конструкции такого типа обладают достаточной эффективностью обеззараживания, однако характеризуются низкой энергоэффективностью, значительным тепловыделением и необходимостью применения защитных кожухов, отражателей и систем вентиляции для отвода озона. Кроме того, нестабильность светового потока ламп в процессе прогрева и эксплуатации вызывает отклонения фактической дозы облучения, что требует постоянной корректировки режима работы. Примером подобных решений являются установки с лампами ДРТ-1000, в которых для равномерности обработки используется массив из девяти источников, размещённых над рабочим лотком вибротранспортёра. Владельцы и разработчики таких установок отмечают возможность увеличения всхожести на 3–6 %, ускорения развития растений и сокращения периода созревания на несколько суток, однако эксплуатационные недостатки ограничивают их применение в хозяйствах с высокими требованиями к энергоэффективности.

Позднее появились специализированные установки для ультрафиолетовой активации семян, такие как АУФ-0,25Б и ОБП09.1240АС, разработанные для обработки зерна и мелких семян овощных культур. Эти установки имеют закрытую камеру, в которой семена перемещаются под действием вибрации или наклонных плоскостей, а УФ-лампы фиксированно расположены в верхней части корпуса. Управление осуществляется автоматически, параметры обработки стабильны, а производительность достигает 0,15–0,28 т/ч при потребляемой мощности около 1,5 кВт. Конструктивные решения данного типа обеспечивают более равномерное распределение дозы и упрощение эксплуатации, однако использование традиционных газоразрядных ламп по-прежнему создаёт риски образования озона, требует регулярной замены источников из-за деградации спектральной мощности и накладывает ограничения на тепловой режим установки.

Существенными недостатками всех ламповых систем остаются: низкая энергоэффективность УФ-преобразования, нестабильность спектрального состава в процессе старения лампы, длительное время выхода на рабочий режим, чувствительность к вибрациям, а также высокий объём сервисного обслуживания. Дополнительным фактором является необходимость утилизации ртутьсодержащих ламп, что требует соблюдения строгих экологических норм.

На фоне этих ограничений в последние годы наблюдается переход к использованию полупроводниковых источников УФ-излучения – светодиодов (УФ-LED). Светодиодные установки обладают принципиальными преимуществами: отсутствие ртути, мгновенный выход на рабочий уровень мощности, возможность точного регулирования спектра и интенсивности, низкое тепловыделение, компактность и повышенная надёжность. Благодаря малому углу расхождения луча и узкому спектральному диапазону

обеспечивается более точное дозирование и высокая повторяемость результатов. Кроме того, светодиодные матрицы позволяют формировать равномерные поля облучения, оптимизировать конструкцию отражающих поверхностей и уменьшать энергопотребление по сравнению с лампами высокой мощности.

Перспективным направлением стали УФ-LED-установки с регулируемой дозировкой, в которых параметры облучения корректируются в реальном времени посредством микропроцессорных систем и датчиков мощности излучения. Такой подход позволяет учитывать деградацию светового потока, изменения температуры и нестабильность внешних условий, обеспечивая поддержание заданной дозы в строго установленном диапазоне. В современных образцах используются массивы светодиодов в спектральных диапазонах 265–280 нм (бактерицидный эффект) и 300–320 нм (физиологическое стимулирование), что позволяет объединить оба эффекта в одной установке и адаптировать её под различные виды семенного материала.

Несмотря на наличие промышленных разработок, значительная часть существующих УФ-облучателей ориентирована на универсальное применение и не оптимизирована под конкретные культуры или условия агропроизводства. Во многих случаях отсутствуют алгоритмы автоматической коррекции дозы, а конструктивные элементы не обеспечивают равномерного распределения энергии по всей поверхности семени, что снижает эффективность технологии. Таким образом, анализ существующих решений позволяет заключить, что дальнейшее развитие УФ-облучательных установок должно быть направлено на использование светодиодных источников, внедрение микропроцессорного управления, оптимизацию геометрии рабочих зон и повышение энергоэффективности.

Ультрафиолетовое излучение, являясь частью электромагнитного спектра с длинами волн 10–400 нм, представляет собой фундаментальный физический фактор, активно используемый в медицине, технике, биотехнологии и агропромышленном комплексе. Источники УФ-излучения принципиально различаются по механизму генерации, спектральному составу, стабильности излучаемой мощности и эксплуатационным характеристикам. Эти параметры определяют их пригодность для предпосевной обработки семенного материала, где требуется сочетание стабильной дозировки, безопасности и энергоэффективности.

Природным источником ультрафиолета является Солнце, однако земная атмосфера, главным образом стратосферный озоновый слой, пропускает преимущественно УФ-А и ограниченно — УФ-В диапазоны, полностью подавляя УФ-С. Это делает естественное УФ-облучение непригодным для технологических задач, требующих бактерицидного эффекта, и формирует потребность в искусственных источниках, обеспечивающих воспроизводимый спектр и высокую плотность излучения. Классическими источниками искусственного УФ-излучения являются газоразрядные ртутные лампы низкого и высокого давления.

Лампы низкого давления (бактерицидные и люминесцентные УФ-лампы) используют разряд в парах ртути при давлениях порядка 0,1–1 Па. Их излучение формируется преимущественно в узком спектральном диапазоне около 254 нм, что обеспечивает выраженный бактерицидный эффект. УФ-люминесцентные лампы (ЛУФ, ЛУФТ), конструктивно сходные с лампами дневного света, за счёт специального люминофора генерируют широкополосное излучение в диапазоне 300–400 нм, что позволяет использовать их для фотобиологических задач. К достоинствам ламп низкого давления относится сравнительно высокая эффективность преобразования электрической энергии в УФ-кванты и стабильность спектра при установленном температурном режиме, однако существенными недостатками являются необходимость в пускорегулирующей аппаратуре, чувствительность к температуре окружающей среды, наличие ртути и обязательность утилизации.

Ртутные лампы высокого давления (ДРТ и ДРТБ) генерируют интенсивное излучение в диапазоне 200–400 нм, сочетающее бактерицидные и фотобиологические компоненты. Эти лампы обладают высокой удельной мощностью и широко применялись в установках для предпосевной обработки семян благодаря хорошей проникающей способности и высокой плотности излучения. Однако их эксплуатация связана с большим тепловыделением, необходимостью сложной пусковой аппаратуры, нестабильностью светового потока в процессе прогрева, а также деградацией спектральной мощности с увеличением срока службы. Кроме того, присутствие ртути, опасность разрушения колбы и образование озона при длинах волн менее 200 нм являются критическими факторами, ограничивающими применение таких ламп в современных экологических агротехнологиях.

Отдельной группой источников являются лампы специального назначения — эритемные, инсект-аттрактантные, лампы «полного спектра» и лампы для соляриев. Они предназначены главным образом для медицинских, санитарных и бытовых задач, имеют строго заданный спектральный состав, но редко применяются в растениеводстве из-за недостаточной мощности, широкого спектрального окна или особенностей спектра, ориентированных на человеческую физиологию, а не на биологию растений.

Наиболее технологически совершенными источниками УФ-излучения на сегодняшний день считаются лазеры и светодиоды. Лазерные источники в УФ-диапазоне обеспечивают когерентное и мощное излучение, однако их применение в сельском хозяйстве практически исключено из-за высокой стоимости, сложности оборудования, малой площади облучения и отсутствия экономической целесообразности при работе с массовыми культурами. Газовые лазеры (аргоновые, азотные, эксимерные) позволяют получать излучение 193–365 нм, но требуют специализированных систем охлаждения, высоковольтных источников питания и регулярного обслуживания.

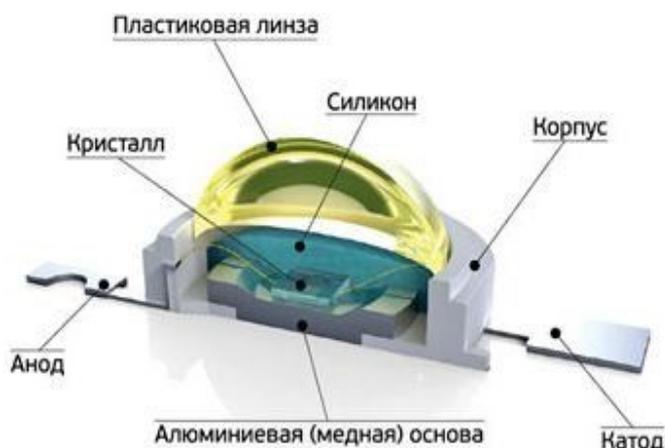


Рисунок 2 – Лампа UVCLEAN на 10-15 мВт и 30-50 мВт

Принципиально новый этап развития УФ-технологий связан с появлением полупроводниковых источников — УФ-светодиодов (LED). Светодиодные источники генерируют излучение в диапазонах 255–350 нм благодаря использованию нитридных и арсенидных полупроводников. В отличие от газоразрядных ламп, светодиоды обеспечивают мгновенный выход на рабочий режим, имеют узкую спектральную полосу (типично 10–12 нм), высокую долговечность, низкое тепловыделение и возможность точного регулирования мощности и спектра. Современные многокристальные LED-массивы (например, серии UVCLEAN) способны генерировать излучение мощностью от единиц до десятков милливатт при компактных размерах и минимальном энергопотреблении.

Ключевыми преимуществами LED-источников являются отсутствие ртути и озonoобразующих излучений, независимость от температуры окружающей среды, совместимость с электронными системами регулирования и возможность интеграции в микропроцессорные системы дозирования. Это позволяет формировать равномерное УФ-поле, корректировать дозу облучения в реальном времени и повышать точность воздействия на семенной материал. Кроме того, спектральная селективность светодиодов позволяет выбирать диапазоны, наиболее соответствующие потребностям конкретной культуры: 260–280 нм — для дезинфекции и инактивации патогенов, 300–320 нм — для стимуляции физиологических процессов, связанных с прорастанием.

Таким образом, сравнительный анализ источников УФ-излучения показывает, что газоразрядные лампы, несмотря на длительную историю применения, уступают современным светодиодным системам по энергоэффективности, стабильности и экологичности. Лазерные источники избыточны по параметрам и экономически нецелесообразны. С практической точки зрения именно УФ-светодиоды представляют собой оптимальный вариант для создания высокоэффективных, компактных и управляемых установок предпосевной обработки зерна, что соответствует современным требованиям агропромышленного производства и открывает путь к построению интеллектуальных систем УФ-облучения с адаптивным управлением.

### *Библиографический список*

1. Повышение эффективности предпосевной обработки семян путем облучения ультрафиолетовой светодиодной установкой в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, А. С. Красников, А. А. Жильцова, А. А. Калмыков // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 315-319.

2. Обзор существующих способов обеззараживания зерна на линиях послеуборочной обработки / Д. О. Иванова, Я. А. Брюхин, Н. Б. Нагаев, А. В. Винников // Новации как стратегическое направление механизации и автоматизации сельского хозяйства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора А.М. Лопатина. – Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 59-64.

3. Анализ способов повышения равномерности нагрева семян рапса в рабочей камере СВЧ-устройства / Н. Б. Нагаев, С. В. Шульженко, Г. Н. Макаров, И. А. Паршин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 3(22). – С. 109-116.

4. Определение теплофизических характеристик воскового сырья / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : Сборник трудов научных чтений Посвящается памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКС, академика Я.В. Бочкарева, Рязань, 01 января – 31 2014 года. Том Выпуск 11. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 137-142.

5. Спектральный состав излучения комбинированных облучательных приборов для сельского хозяйства / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 118-124.

6. Повышение энергоэффективности облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Д. В. Сусов, А. А. Тельнова, Ю. А. Рубина // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 136-142.

7. Нагаев, Н. Б. Анализ влияния различных факторов на повышение энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев, Ю. А. Рубина, Е. В. Кондрашов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 73-77.

8. Обзор влияния различных факторов освещения и облучения на производственные процессы предприятий АПК / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 86-91.

9. Исследование электрофизических параметров комбикорма / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 125-130.
10. Определение параметров светодиодной осветительной системы для облучения сельскохозяйственных животных / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 131-136.
11. Ступин, А. С. Комплексная антистрессовая защита зерновых культур при контрастных погодных условиях / А. С. Ступин, В. И. Левин // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 55-60.
12. Соколов, А. А. Влияние предпосевной обработки семян ячменя биологически активными препаратами и градиентным магнитным полем на его продуктивность / А. А. Соколов, Д. В. Виноградов // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки, 2016. – С. 110-113.
13. Совершенствование предпосадочной подготовки семенного картофеля с помощью автоматизированных расчетов / Д.В. Колошеин, А.А. Назарова, А.С. Попов, Е.А. Лазарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 209. - С. 554-562.
14. Методы обеззараживания семян сельскохозяйственных культур / С. О. Фатьянов, Д. Е. Каширин, А. С. Морозов, В. С. Тетерин // Молодёжная наука для решения актуальных задач АПК : Всероссийский молодёжный научный форум, посвященный 45-летию юбилею Студенческого конструкторского бюро ФГБОУ ВО РГАТУ, Рязань, 20–21 февраля 2025 года. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 113-118.
15. Предпосевная обработка семян в сельском и лесном хозяйстве / А. А. Савинова, Л. А. Антипкина, В. И. Левин, Т. В. Ерофеева // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, 26 декабря 2023 года, Рязань, 26 декабря 2023 года. – Рязань : РГАТУ, 2023. – С. 163-164.
16. Плахутина, Ю. В. Оценка финансовых результатов и направления развития отрасли растениеводства в регионе / Ю. В. Плахутина, Д. И. Жиликов // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2020. - С. 506-511.
17. Анализ средств оптического облучения рассады овощей в теплице / А. Д. Прошлякова, С. О. Фатьянов, А. С. Морозов, Н. Е. Лузгин // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора А.А. Сорокина, Рязань, 24 января 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 129-135.

*Панков П.Д., магистрант,  
Морозов А.С., к.т.н.,  
Фатьянов С.О., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ  
Тетерин В.С., к.т.н.  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, РФ*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ДОЛГОНОСИКА

Долгоносики относятся к одному из крупнейших семейств жесткокрылых насекомых (Coleoptera). Семейство насчитывает свыше 60 тысяч видов, распространенных повсеместно, кроме Антарктиды. Их отличительной чертой является сильно вытянутая передняя часть головы, образующая характерный хоботок, которым самки проделывают отверстия в тканях растений для откладки яиц. Взрослые особи отличаются разнообразием размеров, форм тела и окраски, варьирующихся от мелких темно-коричневых до крупных ярко окрашенных представителей.

Семейство подразделяется на многочисленные роды и виды, некоторые из которых являются серьезными вредителями сельхозкультур, плодовых садов и лесных насаждений. К числу наиболее известных родов относятся *Sitona* (повреждают бобовые растения), *Anthonomus* (картофельные и яблоневые долгоносики), *Otiorhynchus* (садово-декоративные растения).

Жизнь долгоносиков проходит четыре стадии: яйцо, личинка, куколка и взрослая особь. Продолжительность жизни каждой стадии зависит от вида и внешних условий. Рассмотрим общий цикл на примере типичного представителя семейства:

- **Яйцо:** самки делают небольшие углубления в ткани растений и откладывают яйца, которые развиваются от нескольких дней до недель.

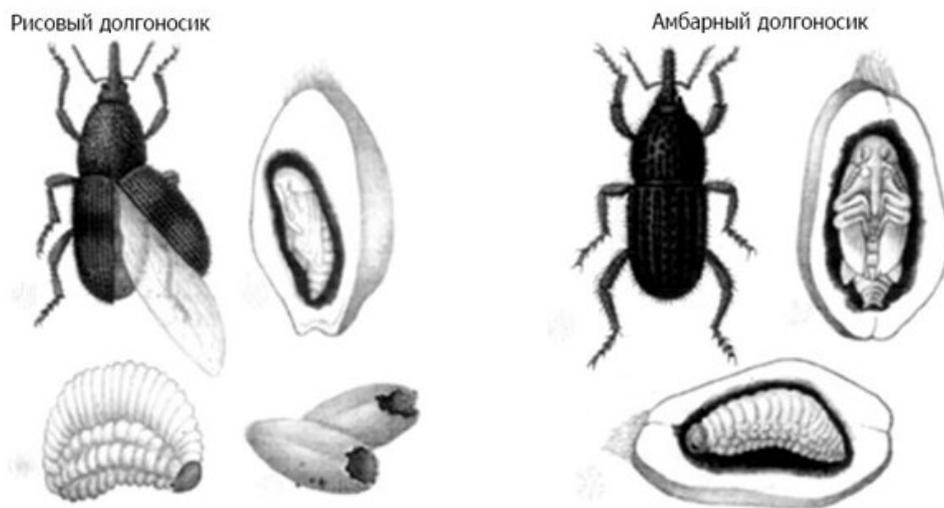


Рисунок 1 – Виды долгоносиков и его развитие

- Личинка: после вылупления личинки начинают активно питаться тканями растений, чаще всего подземными частями корней, клубней или семян. Период роста составляет от нескольких недель до месяцев.

- Куколка: завершив питание, личинки окукливаются внутри подземных тканей или прямо в почве. Стадия куколки длится от одной до трех недель.

- Взрослое насекомое: длительность жизни взрослого долгоносика варьируется от нескольких недель до одного сезона, в течение которого оно способно мигрировать, искать пищу и спариваться.

Некоторые виды способны зимовать на различных этапах своего развития, адаптируясь к неблагоприятным условиям внешней среды.



Рисунок 2 – Стадии жизненного цикла амбарного долгоносика

Факторы среды оказывают значительное влияние на распределение, численность и жизнеспособность долгоносиков. Основными параметрами среды обитания являются:

- Климатические условия: долгосрочные колебания температуры, влажность и количество осадков определяют ареал распространения и период активности отдельных видов. Многие представители требовательны к умеренным климатическим зонам с достаточным количеством тепла и влаги.

- Тип растительности: определенные виды специализированных долгоносиков имеют узкую пищевую специализацию, предпочитая конкретные группы растений (например, зерновые, овощи, древесные породы). Другие обладают широкой пищевой базой и способны развиваться на множестве кормовых объектов.

- Состав и структура почвы: плотность, химический состав и механическая структура почвы влияют на способность долгоносиков успешно развиваться на ранних стадиях жизненного цикла (яйца, личинки). Песчаные, легкие почвы предпочтительнее глинистым плотным грунтам.

- Антропогенное воздействие: изменения ландшафта, применение пестицидов и удобрений, использование определенных технологий

возделывания существенно сказываются на численности и распределении долгоносиков.

Методы изучения среды обитания включают полевые наблюдения, лабораторные опыты и современные аналитические технологии. Среди ключевых подходов выделяются:

- полевые обследования территорий: позволяют оценить количественное распределение долгоносиков в естественной среде обитания, выявить зависимость от конкретных типов растительности и почвенно-климатических зон;

- биологические и физиологические эксперименты: изучение реакции долгоносиков на изменения микроклимата, питания, освещенности, влажности и прочих условий;

- географические информационные системы.

Для определения параметров среды обитания существует специальная установка. Она предназначена для комплексного анализа параметров среды обитания долгоносиков, включая температуру, влажность и плотность почвы.

Установка представляет собой систему, состоящую из двух основных частей:

- блок индикации и управления,
- измерительный зонд.

Измерительный зонд включает три основных элемента:

- измерительную ячейку (плоский конденсатор) — предназначен для регистрации уровня влажности почвы [1, 2]. Емкость плоского конденсатора изменяется пропорционально изменению влажности почвы, позволяя точно фиксировать изменение данного параметра;

- катушку индуктивности — используется для оценки плотности почвы путем измерения сопротивления и индуктивности почвы вокруг нее [3];

- термоэлемент — регистрирует температуру почвы и воздуха вблизи поверхности земли, обеспечивая высокоточный замер температурных характеристик.

Эти элементы объединены в компактный корпус, что обеспечивает удобство эксплуатации и точность измерений.

Блок индикации оснащен двумя каналами отображения данных:

- индикатором влагомера служит частотомер ЧЗ-34А, который позволяет считывать частоту сигнала, соответствующую уровню влажности почвы [4,5].

- индикатором температуры служит миллиамперметр — отражает уровень температуры почвы и воздуха, поступающий с термоэлемента.

Все компоненты обеспечивают надежность и точность показаний для определения важнейших параметров среды обитания долгоносиков.

Плоские конденсаторы обеспечивают высокую чувствительность к изменениям влажности почвы благодаря малому расстоянию между пластинами и большой площади контакта с почвой [6, 7].

Индуктивная катушка позволяет определять плотность почвы посредством анализа электрических свойств грунта, что особенно актуально для оценки доступности питательных веществ и воды для долгоносика.

Вместе эти два элемента образуют резонансный контур.

Термометрические сенсоры высокочувствительны к температурным изменениям, что отражает активность долгоносиков и их репродуктивный потенциал.

Перед началом экспериментов необходимо проводить калибровку всех измерительных элементов установки [8].

Для калибровки плоского конденсатора необходимо использовать эталонные образцы влажной и сухой почвы различной степени увлажнения.

Катушку индуктивности необходимо проверить на точность фиксации уровней плотности почвы при изменении содержания органических веществ и минералов [9].

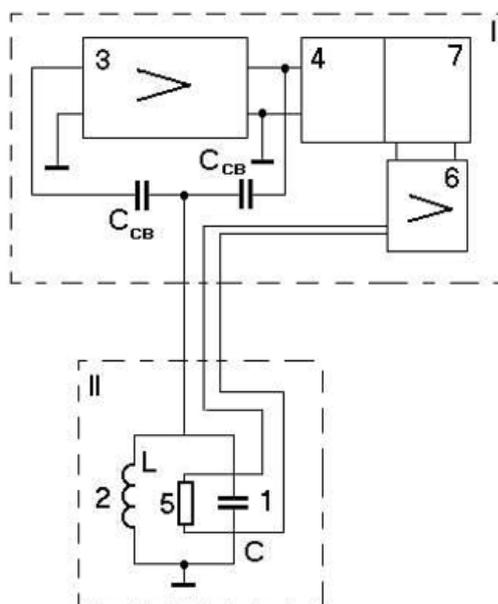


Рисунок 3 – Структурная схема установки

II – измерительный зонд (1-измерительная ячейка (плоский конденсатор), 2 - катушка индуктивности, 5 - термоэлемент), I – блок индикации (3,6 - усилители, 4 - индикатор влагомера (частотомер ЧЗ-34А), 5 -индикатор температуры (миллиамперметр)).

Термоэлемент проверяется на точность показаний при различиях температурах, сопоставленных с показаниями сертифицированных стандартов [10].

Калибровка обеспечивает получение достоверных данных в ходе последующих наблюдений.

Для проверки работоспособности установки и сбора исходных данных для последующего анализа необходимо выбрать участки с различными видами растительности и характеристиками почвы, представляющими характерные зоны обитания долгоносиков, т.е. поля с пшеницей, садовые посадки яблонь, лесополосы с преобладанием хвойных пород.

В каждом участке устанавливаются отдельные точки замеров и осуществляется сбор данных о влажности, плотности почвы и температуре каждые два часа на протяжении дневного периода.

Рассмотренная экспериментальная установка позволит организовать систематический мониторинг важнейших параметров среды обитания долгоносиков. Точность измерений и комплексный подход обеспечивают возможность глубокого анализа.

### *Библиографический список*

1. Фатьянов, С.О. Априорное гарантирующее оценивание параметров при проектировании алгоритмов управления механическими объектами / С.О. Фатьянов, К.В. Миронова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2014. - № 3 (23). - С. 52-56.

2. Мисюрева, С. А. Снижение энергопотребления при нагреве воды в коровнике / С. А. Мисюрева, А. С. Морозов, С. О. Фатьянов // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 276-279..

3. Повышение эффективности работы солнечных фотоэлектрических панелей / Н. Г. Кипарисов [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 412-416.

4. Морозов, А. С. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в медицине / А. С. Морозов, И. И. Садовая, С. О. Фатьянов // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний : Материалы всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 09–10 ноября 2017 года. – Рязань: РГМУ, 2017. – С. 16-18.

5. Ануши, М. И. Сравнительный анализ способов пропитки изоляции обмоток электродвигателей, используемых в производстве сельскохозяйственной продукции / М. И. Ануши, С. Н. Афиногенова, С. О. Фатьянов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции молодых учёных. В 2-х томах, Великие Луки, 13–14 апреля 2017 года. Том 2. – Великие Луки: Великолукская ГСХА, 2017. – С. 4-12.

6. Морозов, А. С. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве / А. С. Морозов, И. И. Садовая, С. О. Фатьянов // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России, Рязань, 26–27 апреля 2017 года / Министерство сельского хозяйства РФ; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2017. – С. 193-196.

7. Клочко, В. К. Калмановский алгоритм восстановления смазанного радиолокационного изображения / В. К. Клочко, Е. П. Чураков, С. О. Фатьянов // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2004. – Т. 47, № 9. – С. 54-59.

8. Лавров, А. М. Оптимизация формы ректального облучателя для лечения животных методом УВЧ - терапии / А. М. Лавров, С. О. Фатьянов // Сборник научных докладов ВИМ. – 2010. – Т. 1. – С. 544-553.

9. Копаев, С. А. Анализ способов защиты асинхронных электродвигателей от несимметричных режимов работы / С. А. Копаев, С. О. Фатьянов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2017. – № 2(5). – С. 153-157.

10. Танабаев, А. С. Анализ методов защиты электродвигателей погружных насосов / А. С. Танабаев, С. О. Фатьянов, А. С. Морозов // Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 12–13 ноября 2019 года / ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Совет молодых ученых. – Рязань: РГАТУ 2020. – С. 208-213.

11. Ступин, А. С. Теоретический анализ состояния и динамики популяций вредных организмов / А. С. Ступин // Актуальные проблемы экологии и сельскохозяйственного производства на современном этапе: Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. – Рязань: РГАТУ, 2002. – С. 77-79.

12. Качество пшеничной муки в зависимости от условий ее хранения / А. А. Пеньшин, Д. В. Виноградов, Е. И. Лупова, М. В. Евсенина // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий. – Рязань, 2020. – С. 329-334.

13. Цветкова, А. Д. Проблема сохранения редких лекарственных растений Рязанской области / А. Д. Цветкова, Л. В. Никулова // Теоретические и практические аспекты инновационных достижений молодых ученых в животноводстве, ветеринарной медицине и экологии : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 360-365.

14. Почвенные водоросли и цианобактерии хвойных фитоценозов с разным уровнем антропогенной нагрузки / Л. В. Кондакова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 4. – С. 91-100.

15. Проблемы развития отраслей растениеводства Курской области в контексте государственной аграрной политики / Ю. В. Плахутина [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 4. - С. 95-104.

16. Современное техническое оборудование для борьбы с вредителями семенного зерна / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Н. Е. Лузгин, В. В. Утолин // Инновационные научно-технологические решения для АПК, Рязань, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 225-230.

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н. доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Латышенков А.А., студент,  
Привалов М.А., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОНОМНАЯ ТЕХНИКА В АПК**

Современные технологии в агропромышленном комплексе – некогда казавшееся фантастикой, сегодня реальность. Российские и зарубежные аграрии активно внедряют передовые разработки для обеспечения культивирования растений круглый год, создания морозоустойчивых и неприхотливых сортов с высокой продуктивностью, оптимизации почвенной структуры, а также совершенствования систем орошения и удобрения. Дроны, роботизированные комплексы и непрерывный мониторинг химического состава почвы позволяют снижать себестоимость продукции и гарантировать её высокое качество [1, 6].

Виртуальное моделирование в сельском хозяйстве рассматривается как прорыв, сопоставимый со значением интернета для бизнеса. Этот относительно доступный инструмент уже радикально трансформирует растениеводство и животноводство, что крайне важно в условиях прогнозируемого увеличения мирового населения до 9,8 миллиардов человек к 2050 году, требующего увеличения производства продовольствия минимум на 70 %.

Спутниковое наблюдение за полями, стадами и производительностью техники предоставляет оперативные данные, позволяя фермерам своевременно реагировать на возникающие проблемы. Агентство Northern Sky Research прогнозирует, что к 2029 году количество спутников, используемых в секторе АПК, превысит 790 тысяч [1, 2].

Фермеры получают возможность оценивать процесс созревания и прогнозировать объём урожая с большей точностью, используя VR-технологии для тестирования и корректировки стратегий. Дроны, осуществляющие регулярные облёты полей, передают данные в систему, которая также интегрирует метеорологические прогнозы и рекомендации по уходу за растениями, что позволяет оптимизировать полив, внесение удобрений и другие аспекты культивации, сокращая издержки и сохраняя урожай.

Диагностика состояния животных может осуществляться с привлечением специалистов из разных уголков мира. Ветеринар, проводящий обследование, становится "глазами и руками" для всех участников процесса. Консилиум специалистов наблюдает за обследованием и коллективно принимает решение о состоянии животного. Технологии, подобные гарнитуре Microsoft HoloLens, уже применяются для удалённой диагностики людей, и их адаптация для домашнего скота – вопрос ближайшего будущего [2, 3].

Интеграция технологий виртуальной реальности и данных, полученных с дронов, предоставляет аграриям возможность визуализировать результаты своей работы и принимать более обоснованные решения, опираясь на наглядные данные. Например, в Соединенных Штатах Америки беспилотные летательные аппараты, используемые для мониторинга сельскохозяйственных угодий, проводят диагностику состояния посевов. Полученные сведения применяются для создания моделей роста растений, на основе которых разрабатываются графики внесения удобрений. Аналогичные системы находят применение в засушливых регионах Китая, Индии и Ганы, где они способствуют принятию решений о точечном орошении обрабатываемых земель [3, 4].

Ограниченные условия содержания в стойлах негативно отражаются на состоянии здоровья коров, приводя к учащению заболеваний, снижению активности и, как следствие, уменьшению объемов производства молока. Экспериментальные исследования показали, что данную проблему можно решить. В Московской области животным были предоставлены очки виртуальной реальности, транслирующие изображения зеленых пастбищ. В результате у подопытных особей наблюдалось снижение уровня тревожности и увеличение надоев молока на 22 %. Данный опыт был перенят фермером Иззетом Косаком из Турции, который, внедрив VR-очки для своих коров, подтвердил результаты, полученные российскими исследователями.

Использование виртуальной реальности позволяет работникам агропромышленного комплекса ознакомиться с возможностями различной техники, получить знания о нюансах севооборота, состоянии почвы и здоровье скота [1, 5]. Представим начинающего фермера, который, надев гарнитуру виртуальной реальности, оказывается посреди поля. Специализированные программы и приложения моделируют различные ситуации, позволяя специалисту закрепить теоретические знания на практике. Благодаря виртуальной реальности, сельское хозяйство становится более доступным и понятным для широкой публики [4, 6].

С развитием цифровых технологий аграрный сектор становится привлекательной отраслью для инвесторов, заинтересованных в автоматизации. Потенциал данной сферы превосходит такие отрасли, как строительство, торговля и страхование. Сельскохозяйственные производители получают возможность не только масштабировать производство, но и снижать риски, что способствует притоку инвестиций в АПК.

В сельском хозяйстве растет число стартапов, предлагающих инновационные решения для агропромышленного комплекса, включая использование робототехники в полевых условиях.

Швейцарская разработка EcoRobotix представляет собой инновационное решение для борьбы с сорняками. Благодаря целенаправленному воздействию, данное оборудование позволяет снизить популяцию сорных растений на 70 % [4, 7]. Автономный пропольщик определяет нежелательную растительность, достигая экономии ресурсов до 80 %. Это позволяет фермерам избегать

повсеместного использования дорогостоящих и потенциально опасных гербицидов.

Беспилотный трактор John Deere 8R, произведённый в Соединённых Штатах, оснащён передовой системой из шести стереокамер. Полученные изображения обрабатываются посредством нейронной сети. Анализ пикселей занимает всего 100 миллисекунд. В комплектации с чизельным плугом, трактор способен выполнять глубокую вспашку, распознавая полезные культуры и сорные растения, что позволяет проводить избирательное удаление.

Немецкая система Xaver предлагает комплексное решение для посева, ухода и уборки урожая. Небольшие автономные роботы работают на полях группами, при этом выход из строя одного устройства не оказывает существенного влияния на общую производительность. Данная техника способна функционировать круглосуточно, обеспечивая значительную поддержку хозяйствам в периоды посевной и уборки [6, 8].

Российская система автономного управления сельскохозяйственной техникой Cognitive Agro Pilot обеспечивает высокую точность позиционирования при обработке полей, с погрешностью всего в несколько сантиметров. Система работает в режиме 24/7, исключая аварии и простои, а также обеспечивая до 7 % экономии топлива.

Сбербанк и Cognitive Pilot осуществляют запуск умного комбайна на полях ведущих агрокомплексов Российской Федерации.

Автоматизированный сборщик томатов Syngenta (США) предназначен для снижения затрат на уборку урожая, которые сегодня составляют 30 % от стоимости конечного продукта. Машины Four Growers, оснащённые искусственным интеллектом, способны непрерывно собирать томаты в течение всего сезона, ориентируясь на заданные параметры спелости.

Австралийский робот SwagBot выполняет функции пастуха и пропольщика. Он может применяться для ухода за домашним скотом и обследования труднодоступных территорий. Робот анализирует окружающую среду и направляет животных на безопасные пастбища, попутно осуществляя прополку сорняков [2, 9].

Беспилотные летательные аппараты повышают скорость и эффективность обработки данных при мониторинге полей. Они совместимы с различными типами оборудования, включая ИК-камеры и ультразвуковые отпугиватели птиц, что способствует переходу к точному земледелию. Использование искусственного интеллекта позволяет дронам распознавать и уничтожать сорняки с точностью до 96 %. При этом гербициды применяются точечно, а не по всей площади поля. Один пролёт или 14 минут работы аппарата позволяют обработать около 20 гектаров земли. По данным Deloitte, в 2023 году в аграрной отрасли использовалось около 8 миллионов дронов, и ожидается, что к 2032 году этот рынок вырастет в 20 раз.

Внедрение автономных дронопортов, таких как "Степь", знаменует собой новую эру в обслуживании сельскохозяйственных угодий. Эти станции, предназначенные для размещения и обслуживания летательных аппаратов, могут управляться удаленно, независимо от местонахождения оператора.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для различных задач, включая аэрофотосъемку, мониторинг состояния полей, а также управление агротехническими процессами в течение всего года [2, 10].

В качестве примера практического применения, в Самарской области проводились эксперименты по использованию дронов не только для мониторинга, но и для посева сидератов, таких как горчица и донник, а также для защиты молодых растений от вредителей. В Чувашии беспилотные технологии применяются в выращивании картофеля, включая посадку клубней и защиту посадок, с перспективой использования дронов для сбора урожая.

Повсеместная автоматизация в сельском хозяйстве, несмотря на свою перспективность, требует упорядочивания и координации усилий. Цифровизация, как показывает опыт таких стран, как США, Китай и Германия, способна снизить затраты на удобрения, средства защиты растений и топливо на 20 % и более. Автоматизация фермерских хозяйств может стать решением проблемы растущих затрат на химикаты и дефицита рабочей силы [6, 11].

Роботизация посевов, обработки полей и сбора урожая способна повысить эффективность хозяйств как минимум на треть. Этого можно достичь посредством активного привлечения фермеров, агрономов, животноводов, производителей техники и логистических компаний в единую информационную сеть.

Регенеративное земледелие, как одно из активно развивающихся направлений, предлагает решение проблемы истощения почв, вызванной интенсивным землепользованием. Этот подход, основанный на стандартах органического земледелия, рассматривает все агротехнические процессы как единую систему, минимизирующую негативное воздействие на окружающую среду. Внедрение робототехники в сельское хозяйство, от обработки почвы до ухода за животными, способствует повышению продуктивности и снижению рисков, связанных с использованием химикатов [5, 12].

В перспективе роботизация не только обеспечит продовольственную безопасность растущего населения планеты, но и будет способствовать оздоровлению почв, водных ресурсов и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

### ***Библиографический список***

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием,

посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного

агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Проблемы агрономии и агрохимии в современном сельскохозяйственном производстве / М. М. Крючков [и др.] // Научно-практические инициативы и инновации для развития регионов России. – Рязань, 2015. – С. 102-105.

14. Кулибеков, К.К. Опыт реконструкции и модернизации современных молочных ферм и комплексов в Рязанской области / К.К. Кулибеков, О.В. Мирионкова // Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона: материалы 67-ой международной научно-практической конференции. Рязань, 18 мая 2016 года. - Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 84-89.

15. Романова, Л. В. Оценка использования элементов точного земледелия в Рязанской области / Л. В. Романова // Научно-технические приоритеты развития АПК России, Рязань, 24 апреля 2025 года. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 427-432.

16. Терентьев, О. В. Современные технологии в сельском хозяйстве / О. В. Терентьев, В. В. Терентьев // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13-15 марта 2024.– Майский: ФГБОУ ВО БГАУ, 2024. – С. 135-136.

17. К вопросу беспроводной передачи информации в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инновационные научно-технологические решения для АПК. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 151-157.

18. Умное сельское хозяйство: робототехника в действии / А. А. Кутыраев, Г. Н. Фадькин, В. В. Чурилова, С. Д. Полищук // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, Рязань, 01 ноября 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 109-110.

19. Кистанова, С.А. Экономическая эффективность использования сельскохозяйственной техники / С.А. Кистанова, А.Б. Мартынушкин, Н.Н. Пашканг // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники: Материалы Международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 110-114.

20. Марков, И. С. Анализ цифровизации процессов в АПК / И. С. Марков, В. А. Кончин // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 05 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 162-167.

21. Юмаев, Д. М. Анализ и перспективы применения робототехники для решения инженерных задач в агропромышленном комплексе / Д. М. Юмаев, А. А. Желтоухов, В. Д. Шаров // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2018. – № 2(7). – С. 94-99.

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОЕМОВ**

Статья опирается на проверенные научные источники, статистические данные и результаты эмпирических исследований, представляя как общепринятые теории, так и современные гипотезы в области гидроэкологии. Формулируются выводы о необходимости комплексного подхода к оценке воздействия и разработке мер по митигации негативных последствий.

Гидроэнергетика, исторически играющая существенную роль в обеспечении человечества энергией, продолжает оставаться одним из наиболее значимых источников возобновляемой энергии в мировом масштабе. Растущий спрос на энергию и стремление к сокращению выбросов парниковых газов стимулируют дальнейшее развитие и строительство гидроэлектростанций (ГЭС) по всему миру. Однако, наряду с неоспоримыми преимуществами в виде производства чистой энергии, гидроэнергетические сооружения, прежде всего плотины, оказывают глубокое и зачастую необратимое воздействие на природные водные экосистемы. Реки и озера, являясь одними из наиболее динамичных и биологически богатых компонентов биосферы, подвергаются фундаментальным трансформациям, которые затрагивают все уровни их организации – от физико-химических параметров среды до сложнейших трофических сетей и миграционных паттернов живых организмов [1, 2].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью всестороннего и объективного анализа экологических последствий, связанных с эксплуатацией существующих ГЭС и планированием новых проектов. Игнорирование комплексного влияния гидроэнергетики на экосистемы может привести к потере уникального биоразнообразия, деградации природных ландшафтов и снижению экологической устойчивости целых регионов.

Целью данной статьи является проведение комплексного научного обзора, направленного на глубокое изучение воздействия гидроэнергетических сооружений на речные и озерные экосистемы. Задачи исследования включают: детальное рассмотрение теоретических основ, объясняющих механизмы трансформации водных сред; подробный анализ влияния плотин и ГЭС на биоразнообразие, включая флору и фауну; всестороннее изучение экологических последствий строительства и эксплуатации гидроэлектростанций; представление и анализ эмпирических исследований и статистических данных, подтверждающих описанные процессы; обобщение накопленного опыта, существующих теорий и гипотез в области гидроэкологии.

Воздействие гидроэнергетических сооружений на водные экосистемы многогранно и затрагивает фундаментальные природные процессы. Изменение естественного стока реки, приводящее к образованию водохранилищ, является первопричиной большинства последующих трансформаций.

Создание плотин приводит к кардинальному изменению гидрологического режима рек. Естественный, динамичный водный поток, характеризующийся сезонными колебаниями уровня и паводками, заменяется зарегулированным режимом. Водоохранилища, являясь по сути искусственными озерами, накапливают огромные объемы воды, что существенно изменяет пространственно-временные характеристики стока. Скорость течения в верхнем течении водохранилища замедляется до практически полного застоя, в то время как ниже плотины режим сброса воды может быть нестабильным, приводя к резким колебаниям уровня и расхода воды.

Создание водохранилищ влечет за собой значительные изменения в физико-химическом составе воды, что имеет критическое значение для всего водного сообщества.

**Термический режим:** В водохранилищах наблюдается ярко выраженная термическая стратификация, особенно в летний период. Слой теплой воды формируется на поверхности, тогда как придонные слои остаются холодными. Это приводит к формированию анаэробных условий в придонной зоне, где растворенный кислород практически отсутствует. Ниже плотины, сбросы воды из нижних слоев водохранилища (так называемые “донные сбросы”) могут приводить к неестественно низким температурам воды в реке, что негативно сказывается на водных организмах, адаптированных к более теплым условиям.

**Кислородный режим:** Как уже упоминалось, аноксия в придонных слоях водохранилищ является распространенным явлением. Это связано с разложением органического вещества (затопленная растительность, аллохтонный материал) и недостаточным перемешиванием воды. Сброс гипоксической воды ниже плотины может создавать критические условия для жизни многих водных организмов, особенно рыб и беспозвоночных.

**Седментационные процессы:** Замедление скорости течения в водохранилище приводит к интенсивному осаждению взвешенных наносов. Этот процесс, известный как “песчаная ловушка”, приводит к накоплению огромных объемов осадка на дне, что может снижать полезный объем водохранилища и изменять донные биотопы. Ниже плотины, вода, лишенная естественного наносоносного материала, приобретает способность к усиленной эрозии русла и берегов, что известно как “эрозионный голод” [3,4].

**Солевой баланс и качество воды:** Создание водохранилищ может влиять на минерализацию воды и вымывание солей из затопленных почв. В условиях застоя воды и анаэробнозиса могут происходить процессы, способствующие переходу металлов из твердой фазы донных отложений в растворенную форму, что потенциально увеличивает концентрацию токсичных веществ в воде. Гипотезы о “парниковом эффекте” водохранилищ, связанных с выделением метана и углекислого газа из затопленной органики, также активно

исследуются, указывая на потенциальный вклад гидроэнергетики в изменение климата.

Изменение режима стока и седиментации оказывает прямое влияние на геоморфологию речных систем. Затопление обширных территорий под водохранилища приводит к необратимой потере пойменных экосистем, которые являются важнейшими элементами речной долины, играющими роль в биофильтрации, регулировании стока и поддержании биоразнообразия. Ниже плотины, “эрозионный голод” приводит к тому, что вода, лишенная природных наносов, начинает активно размывать собственное русло и берега. Это может приводить к понижению уровня грунтовых вод в пойме, деградации прибрежной растительности и изменению гидрологического режима, который ранее поддерживал уникальные пойменные экосистемы. Формируются новые, антропогенно измененные русловые формы, часто характеризующиеся упрощенной структурой и сниженным разнообразием биотопов.

Трансформация гидрологического режима и физико-химических параметров воды оказывает глубокое влияние на все компоненты водного биоценоза, от микроорганизмов до крупных позвоночных.

Ихтиофауна рек, будучи тесно связанной с естественным стоком и миграционными процессами, особенно уязвима перед гидроэнергетическими сооружениями. Плотины выступают в качестве непреодолимых барьеров для проходных и полупроходных рыб, таких как лососевые (например, атлантический лосось, кета), осетровые (например, русские осетры, белуги) и некоторые виды угря. Естественные миграционные пути, необходимые для нереста, нагула и миграций молоди, оказываются нарушенными. Создание водохранилищ приводит к фрагментации популяций, изоляции популяций в отдельных участках реки, что снижает генетическое разнообразие и повышает риск локальных вымираний. Кроме того, изменение температурного режима, снижение уровня кислорода, утрата нерестовых субстратов и изменение доступности кормовой базы негативно сказываются на воспроизводстве и выживаемости рыб. Несмотря на усилия по созданию рыбопропускных сооружений, их эффективность зачастую оказывается недостаточной, а аквакультура не всегда способна полностью компенсировать потери естественных популяций. Эмпирические данные по многим рекам мира демонстрируют драматическое снижение численности популяций рыб после строительства ГЭС, что подтверждает масштабы этой проблемы.

Экосистемы беспозвоночных также претерпевают значительные изменения. Замедление течения и изменение характера донных отложений в водохранилищах способствуют преобладанию видов, адаптированных к замедленным или стоячим водам, часто с низким содержанием кислорода. Это может приводить к снижению видового разнообразия бентосных организмов. Фитопланктон и зоопланктон также подвержены изменениям: в водохранилищах может наблюдаться более интенсивное “цветение” воды (цветение водорослей), что является следствием эвтрофикации и повышенного содержания питательных веществ, а также сезонные колебания численности и

видового состава планктонных организмов, отличающиеся от естественных речных паттернов.

Строительство плотин и образование водохранилищ приводит к затоплению обширных территорий, уничтожая естественные прибрежные и пойменные растительные сообщества. Изменение гидрологического режима ниже плотины, особенно резкие колебания уровня воды, могут делать невозможным существование видов, адаптированных к более стабильным условиям. В измененной среде, особенно в водохранилищах, создаются благоприятные условия для распространения некоторых видов, которые могут считаться инвазивными для данной территории, вытесняя аборигенные виды. Изменения в освещенности и составе воды также влияют на развитие фитобентоса и макрофитов.

Экологические последствия гидроэнергетики не ограничиваются водной средой. Наземные животные, чья жизнь тесно связана с реками и их пойменными территориями, также страдают. Сокращение доступности рыбы как кормовой базы негативно сказывается на популяциях хищных птиц (например, скопы, орланы) и водных млекопитающих (например, выдры). Изменение ландшафта и утрата пойменных экосистем также влияют на среду обитания многих видов птиц, насекомых и травоядных животных, которые использовали пойменные луга и леса.

Помимо прямого воздействия на биоразнообразие, строительство и эксплуатация ГЭС влекут за собой ряд масштабных экологических последствий, формирующих долгосрочные изменения в ландшафте и функционировании экосистем.

Одним из наиболее драматичных последствий является затопление значительных территорий при формировании водохранилищ. Эти территории зачастую включают в себя ценные водно-болотные угодья и пойменные зоны, которые являются уникальными экосистемами. Они служат природными фильтрами, очищая воду, регулируют сток, предотвращая наводнения, и представляют собой критически важные местообитания для множества видов птиц, амфибий, рептилий, насекомых и растений. Утрата этих территорий означает не только потерю биоразнообразия, но и нарушение естественных функций водного цикла. Эмпирические данные, полученные с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования, позволяют количественно оценить масштабы утраченных территорий и связанные с этим потери биоразнообразия [7,8,9].

Гидроэнергетические сооружения грубо вмешиваются в естественные процессы, формирующие речные системы на протяжении тысячелетий. Прекращается естественный паводок – периодическое затопление поймы, которое необходимо для обогащения почв питательными веществами, поддержания растительности и создания условий для нереста и развития многих видов. Полностью нарушается естественный перенос наносов, что, как уже отмечалось, приводит к “эрозионному голоду” ниже плотины и накоплению наносов в водохранилище. Река, лишенная естественных циклов, становится

более “обезличенным” водным потоком, лишенным множества экологических функций.

Стоячая вода в водохранилищах создает благоприятные условия для эвтрофикации – накопления биогенных элементов (азота и фосфора), что может приводить к бурному развитию водорослей (“цветение” воды). Процессы разложения органического вещества в условиях дефицита кислорода могут способствовать накоплению токсичных веществ, таких как сероводород, а также переводу тяжелых металлов из донных отложений в растворенную форму. Неконтролируемые сбросы воды из водохранилищ могут также влиять на качество воды ниже по течению. Гипотезы о “парниковом эффекте” водохранилищ, связанных с выделением метана (CH<sub>4</sub>) и углекислого газа (CO<sub>2</sub>) из затопленной органики, ставят под сомнение полную “чистоту” гидроэнергетики с точки зрения климатического воздействия.

Строительство массивных плотин и образование огромных водохранилищ радикально изменяют естественный облик речных долин. Исчезают водопады, пороги, естественные пойменные ландшафты, заменяясь искусственными водоемами и бетонными сооружениями. Это не только снижает эстетическую ценность природных территорий, но и оказывает психологическое воздействие на человека, лишая его доступа к природным рекреационным зонам.

Многочисленные эмпирические исследования, проводившиеся на реках по всему миру, подтверждают описанные теоретические положения и гипотезы, количественно оценивая масштабы воздействия гидроэнергетики.

Примером масштабного воздействия является каскад ГЭС на реке Янцзы в Китае, включая плотину “Три ущелья”. Строительство этой мега-плотины привело к затоплению обширных территорий, вынужденному переселению миллионов людей, существенному изменению гидрологического режима, нарушению миграции китайского осетра и других видов рыб, а также к накоплению наносов и изменению качества воды 7. На реке Миссисипи в США, комплекс плотин и дамб привел к фрагментации речной системы, существенному снижению популяций проходных рыб и трансформации пойменных экосистем. В России, строительство Волжского каскада ГЭС оказало колоссальное влияние на экосистему Волги, привело к практически полному прекращению миграции осетровых, изменению температурного режима и эвтрофикации водохранилищ [5, 6]. Анализ воздействия ГЭС на реках Европы (например, Дунай, Рейн) также демонстрирует схожие тенденции: нарушение миграций рыб, изменение состава бентосных сообществ и фрагментацию речных коридоров 4. Сравнительный анализ воздействия на горные и равнинные реки показывает, что последние более подвержены эрозионным процессам ниже плотины, тогда как горные реки чаще страдают от изменения термического режима и нарушений миграций.

Статистические данные, собранные за десятилетия мониторинга, свидетельствуют о драматическом снижении численности многих видов рыб, особенно проходных. Так, на реке Колумбия (Северная Америка) популяции тихоокеанского лосося сократились на десятки процентов после строительства каскада ГЭС. Исследования показывают, что в водохранилищах часто

наблюдается преобладание видов, устойчивых к эвтрофикации и гипоксии, в то время как более чувствительные виды исчезают. Оценки потерь биоразнообразия, проводимые международными природоохранными организациями, показывают, что строительство ГЭС является одной из ведущих причин деградации пресноводных экосистем в мире. Экономическая оценка экологического ущерба, связанного с потерей рыбных ресурсов, рекреационного потенциала и естественных функций рек, зачастую превышает экономическую выгоду от производства электроэнергии [10,11].

Для оценки влияния гидроэнергетики на экосистемы применяются комплексные методы. Мониторинг состояния рек и озер проводится до, во время и после строительства ГЭС, позволяя отслеживать динамику изменений. Широко используются географические информационные системы (ГИС) для анализа пространственных изменений, картографирования утраченных территорий и оценки воздействия на ареалы обитания видов. Математическое моделирование позволяет прогнозировать изменения гидрологического режима, температурного баланса, седиментационных процессов и даже популяционной динамики рыб. Эти методы помогают не только документировать последствия, но и разрабатывать более обоснованные проекты и меры по снижению негативного воздействия.

В ответ на растущее понимание негативных последствий, активно развиваются концепции устойчивого развития и “зеленой” гидроэнергетики. Эти подходы направлены на минимизацию экологического воздействия путем более тщательного выбора мест строительства, использования современных технологий (например, более эффективные рыбопропускные сооружения, системы регулирования сбросов), проведения комплексных экологических оценок и разработки компенсационных мер. “Зеленая” гидроэнергетика стремится к балансу между потребностями в энергии и сохранением природных экосистем.

Гидроэнергетика, являясь важным источником возобновляемой энергии, оказывает многогранное и зачастую глубоко негативное воздействие на речные и озерные экосистемы. Синтез теоретических основ, эмпирических данных и существующих гипотез позволяет сделать вывод о том, что строительство и эксплуатация ГЭС приводят к фундаментальным трансформациям гидрологического режима, изменению физико-химических параметров воды, деградации водных и пойменных экосистем, а также к существенной потере биоразнообразия.

Нарушение естественного стока, создание водохранилищ, изменение температурного и кислородного режимов, накопление наносов и загрязнителей, а также прямое физическое воздействие плотин – все это факторы, приводящие к упрощению структуры экосистем, снижению их устойчивости и потере уникальных видов. Эмпирические данные по всему миру подтверждают эти тенденции, демонстрируя значительное сокращение популяций рыб, изменение растительных и животных сообществ, а также утрату ценных пойменных территорий.

Исходя из проведенного анализа, становится очевидной необходимость комплексного подхода к оценке воздействия гидроэнергетики. Экологические риски должны быть тщательно изучены на стадии планирования проектов, а не после их реализации.

Меры по митигации негативных последствий:

Экологически обоснованное проектирование: Выбор мест для строительства ГЭС с учетом минимального воздействия на наиболее ценные экосистемы и миграционные пути. Использование технологий, минимизирующих изменение гидрологического режима ниже плотины, и современных рыбопропускных сооружений.

Реабилитация экосистем: Разработка и реализация программ по восстановлению деградировавших пойменных зон, очистке водохранилищ и реабилитации популяций рыб.

Развитие альтернативных источников энергии: Активное развитие и внедрение других видов возобновляемой энергии (солнечной, ветровой), которые, как правило, оказывают меньшее воздействие на экосистемы.

Усиление мониторинга и научных исследований: Постоянный и всесторонний мониторинг состояния речных и озерных экосистем, подверженных влиянию ГЭС, а также поддержка фундаментальных исследований для лучшего понимания механизмов воздействия [12].

Перспективы развития:

Будущие исследования должны быть направлены на более глубокое понимание долгосрочных последствий, разработку инновационных технологий для минимизации воздействия (например, “зеленые” плотины, системы искусственного регулирования стока) и создание интегрированных моделей, позволяющих комплексно оценивать экологические, социальные и экономические аспекты гидроэнергетических проектов. Гипотезы о возможности создания “устойчивых” рек, в которых сосуществуют гидроэнергетические сооружения и здоровые экосистемы, требуют дальнейшей экспериментальной проверки и теоретического обоснования.

### *Библиографический список*

1. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4 кв и мероприятия по их снижению / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, О. О. Максименко [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 2(11). – С. 140-143.

2. Анализ ламп применяемых для переменного оптического облучения рассады овощных культур в теплицах / А. С. Морозов [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 305-310.

3. Направления повышения энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вклад университетской аграрной

науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 295-302.

4. Сравнение полупроводниковых приборов применяемых в преобразователях электрической энергии систем электроснабжения / И. И. Гришин, Е. С. Семина, А. С. Морозов, М. Бахрамзод // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – № 1. – С. 232-235.

5. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

6. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

7. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

8. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

9. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

10. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

11. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.
12. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.
13. Экология / А. В. Щур, Д. В. Виноградов, Н. Н. Казаченок [и др.]. – Могилев-Рязань-Москва, 2016. – 187 с.
14. Богданова, А. А. Проблемы экологии и антропогенных загрязнений реки Оки в городском округе Кашира Московской области / А. А. Богданова, В. Н. Туркин, И. В. Шинкевич // Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные проблемы и тенденции развития : Материалы Национальной студенческой конференции. - Рязань: РГАТУ, 2022. - С. 21-26.
15. Ахмедов, Н.С. Обоснование и разработка способов очистки оросительной воды от мусора и водорослей в открытых каналах мелиоративных систем / Н.С. Ахмедов, С.Н. Борычев, О.П. Гаврилина, М.Ю. Михайлова // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина. Рязань, 24 мая 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 213-219.
16. Новак, А.И. Комплексный эколого-биологический мониторинг загрязненности рек в городе Рязани / А.И. Новак, О.А. Федосова, Г.В. Уливанова // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 69-ой Международной науч.-практ. конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 142-147.
17. Почвенные водоросли и цианобактерии хвойных фитоценозов с разным уровнем антропогенной нагрузки / Л. В. Кондакова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 4. – С. 91-100.
18. Энергетический потенциал окружающей среды в АПК / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2019. – № 1(8). – С. 80-84.
19. Акулина, И. А. Метод выращивания растений на жидкой питательной среде в научных и производственных целях / И. А. Акулина, Л. А. Антипкина, В. И. Левин // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, Рязань, 26 декабря 2023 года. – Рязань : РГАТУ, 2023. – С. 85-86.
20. Ванюшина, О.И. Влияние электроэнергетики на экономику страны / О.И. Ванюшина, Н.В. Барсукова, О.В. Лозовая // Тренды развития современного

общества: управленческие, правовые, экономические и социальные аспекты: Сборник научных статей 14-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 107-110.

21. Кончин, В. А. Эффективность ресурсосбережения на предприятиях Курской области / В. А. Кончин // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 05 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 114-117.

22. Юмаев, Д. М. Влияние дождевых насаждений на эрозию почвы / Д. М. Юмаев, А. А. Желтоухов, Г. К. Рембалович // Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений : Материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Рязань, 20 февраля 2020 года. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 429-434.

**УДК 631.358**

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

В статье говорится о том, что установлен перечень основных энергоносителей в агропромышленном комплексе. Ими являются электрическая и тепловая энергия, моторное и котельно-печное топливо, природный газ. Данные виды ресурсов формируют структуру энергопотребления сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые методы проведения энергообследований включают комплекс инструментальных замеров, анализ эксплуатационной документации и расчетные методы оценки. Инструментальные замеры предполагают Процесс мониторинга включает фиксацию токовых нагрузок, температурных показателей, уровня влажности и расхода теплоносителей с применением переносных измерительных устройств. Изучение балансов пара, конденсата, электроэнергии и тепла дает возможность выявить структуру и источники энергетических потерь. Данный диагностический комплекс обеспечивает достоверную оценку существующей ситуации в области энергопотребления организации. На начальной стадии выполняется энергоаудит, направленный на сбор общих данных об объемах потребления всех видов ресурсов и расчет удельных энергозатрат на единицу продукции. Полученные результаты дают основание для классификации производственных процессов по уровню энергоемкости, определения совокупного потенциала энергосбережения и

анализа степени актуальности проблем в области энергоэффективности. Итогом данного этапа становится разработка нормативов потребления энергоресурсов и формирование энергетического паспорта предприятия. Следующий этап предполагает детальное энергетическое обследование отдельных технологических линий, цехов или предприятия в целом, что представляет собой поэлементный анализ системы с идентификацией наиболее энергозатратных объектов. Критериями отбора сельхозпредприятий в выборку стали размер хозяйства, специализация (растениеводство или животноводство) и климатическая зона расположения. Данные параметры позволяют обеспечить репрезентативность исследования за счет учета основных факторов, влияющих на энергопотребление. Учет климатической зоны особенно важен для анализа сезонных колебаний в расходе энергоресурсов. Размер хозяйства и его специализация определяют структуру и объемы потребления топливно-энергетических ресурсов [1,2].

Выборка охватила 50 предприятий различных форм собственности с годовой энергоемкостью от 500 до 5000 тонн условного топлива. Такой диапазон энергоемкости позволяет проанализировать как небольшие, так и крупные сельскохозяйственные производства. По итогам энергообследования формируются картограммы энергопотерь и потенциальных реципиентов низкопотенциальных тепловых отходов. Данные материалы служат основой для формирования комплексной программы повышения энергоэффективности предприятия.

В структуре энергопотребления сельскохозяйственных предприятий преобладает растениеводство. Эта отрасль занимает долю от 40 % до 60 % от общего объема потребления топливно-энергетических ресурсов. Животноводческий сектор потребляет значительно меньше энергии — примерно 25-35 % ресурсов. Основными факторами такого распределения являются высокая механизация растениеводческих процессов и широкое применение систем орошения. «Наиболее энергоемкой отраслью сельского хозяйства является растениеводство. В нашей республике оно потребляет свыше 50 % энергии, из которой почти треть затрачивается на кормовые культуры. Превалирование растениеводства в энергетическом балансе объясняется интенсивным использованием сельскохозяйственной техники на различных этапах производства. К ним относятся вспашка, посев, обработка почвы, уборка урожая и полив. Особенно значительные затраты приходятся на возделывание кормовых культур, что подтверждается эмпирическими данными. Таким образом, технологические особенности растениеводства делают его ключевым потребителем энергоресурсов в аграрном секторе [3].

Энергопотребление в сельском хозяйстве демонстрирует выраженную сезонную динамику. Пиковые нагрузки напрямую связаны с агротехническими циклами, такими как посевная и уборочная кампании. В эти периоды резко возрастает использование мобильной техники и стационарного оборудования. «начавшаяся в 2021 г. неблагоприятная тенденция увеличения энергоемкости производства растениеводческой продукции продолжилась в 2022 г. и была обусловлена проявлением аномальных климатических явлений, повлекших

рост потребления топливно-энергетических ресурсов для работы сельскохозяйственной техники и оборудования, изменением структуры посевных площадей, некоторым замедлением темпов роста аграрной экономики вследствие проявления влияния внешних факторов.

Удельная энергоёмкость сельскохозяйственной продукции превышает средние промышленные показатели на 15-20 %. Это отставание обусловлено технологической неэффективностью используемого оборудования. Значительная часть машин и агрегатов эксплуатируется длительное время и имеет низкий КПД. В результате расход топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции в аграрном секторе остается высоким.

Анализ результатов энергетических обследований сельскохозяйственных предприятий демонстрирует значительную энергоёмкость отдельных производственных процессов. Наибольшие затраты топливно-энергетических ресурсов зафиксированы при сушке зерна, достигающие до 30 % от общих затрат. Сопоставимые показатели характерны для молочных ферм, где расходы на поддержание микроклимата составляют до 25 %. Такая структура потребления отражает технологическую специфику аграрного сектора [4,5,6].

Основные причины высокой энергоёмкости в АПК:

- Устаревшее оборудование
- Энергоёмкий микроклимат в животноводстве
- Неэффективные котельные и сети
- Недогрузка электродвигателей
- Расточительные системы освещения.

Данные факторы определяют высокую долю затрат в указанных процессах.

Типичные потери энергии в сельскохозяйственном производстве составляют 15-20 % от общего потребления. Эти потери преимущественно связаны с эксплуатацией изношенных электродвигателей, работающих с неоптимальной нагрузкой. Неэффективные режимы функционирования технологического оборудования усугубляют проблему энергетических потерь. Указанные факторы снижают общую энергоэффективность предприятий.

Выявлена тенденция к росту доли электроэнергии в структуре топливно-энергетических ресурсов до 45 %. Одновременно наблюдается сокращение использования твердого топлива. Выявлена тенденция к росту доли электроэнергии в структуре ТЭР (до 45 %) при сокращении использования твердого топлива. Данная динамика отражает технологическую модернизацию сельскохозяйственного производства [7,8].

Для проведения ранжирования основных потребителей энергоресурсов в сельском хозяйстве были разработаны критерии оценки энергоёмкости технологических процессов. Ключевыми параметрами стали удельные затраты энергии на единицу продукции и доля энергозатрат в структуре себестоимости. Эти критерии применялись дифференцированно для растениеводства и животноводства с учетом их технологических особенностей. Учитывались также факторы сезонности и климатические условия, влияющие на энергопотребление. В растениеводстве основными критериями выступали

энергоёмкость обработки почвы, посева, ухода за растениями и уборки урожая. Для животноводства оценивались затраты на содержание поголовья, кормопроизводство и переработку продукции. «Выполненный анализ данных репрезентативной выборки сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь за период с 2018 по 2022 г. позволил выявить в отрасли растениеводства следующие тенденции (рис. 1): 1. Наблюдается высокая прямая зависимость величины энергетических затрат в разрезе сельскохозяйственных культур от таких факторов, как высокая доля затрат на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) у зерновых и овощей защищенного грунта обусловлена их ключевой ролью в обеспечении продовольственной безопасности страны и высокотехнологичным характером производства, что позволяет отнести эти культуры к «приоритетной» группе. Это подтверждает значимость выбранных критериев.

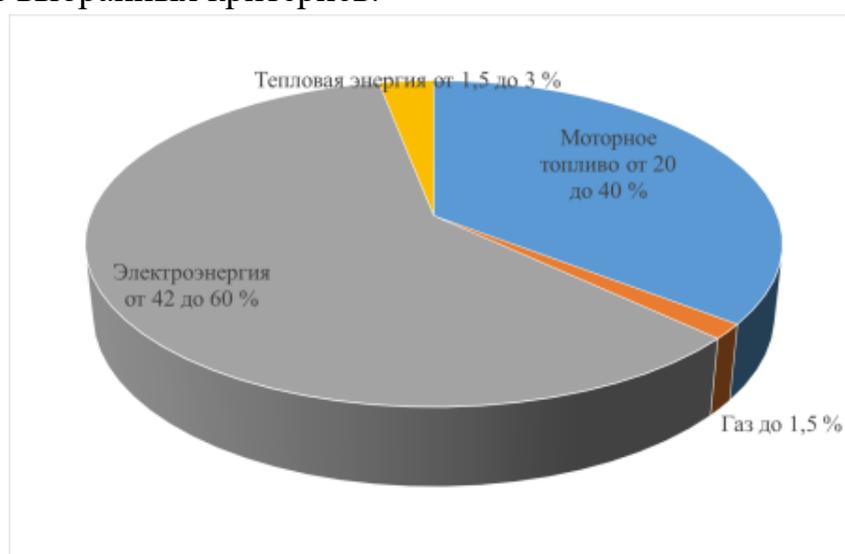


Рисунок 1 – Фактические затраты энергоресурсов в 2025 году [13]

На основе разработанных критериев были идентифицированы ключевые отрасли-потребители энергоресурсов с дифференциацией по видам энергоносителей. В растениеводстве наибольшее потребление электроэнергии характерно для систем орошения и освещения защищенного грунта, тогда как жидкое топливо преимущественно используется в механизированных работах. В животноводстве лидирующие позиции по энергопотреблению занимают системы вентиляции, доильные установки и оборудование для переработки молока [9,10].

Количественный анализ долевого распределения энергопотребления между основными производственными подразделениями показал, что в растениеводстве на зерновые культуры приходится 45 % общих затрат, на овощеводство защищенного грунта – 30 %, а остальные культуры – 25 %. В животноводстве молочное скотоводство составляет 60 % энергопотребления, свиноводство – 25 %, птицеводство – 15 %. Такое распределение отражает различную энергоёмкость технологических циклов.

Внедрение энергоэффективного оборудования способствует значительному сокращению потребления электроэнергии в технологических

процессах сельскохозяйственных предприятий. Современные электродвигатели с регулируемым приводом обеспечивают оптимизацию работы насосных систем и вентиляционного оборудования. Автоматизированные системы управления позволяют точно дозировать энергопотребление в зависимости от текущих производственных потребностей. Это приводит к снижению пиковых нагрузок и равномерному распределению энергозатрат в течение суток. Использование систем автоматического контроля технологических параметров минимизирует перерасход электроэнергии при выполнении стандартных операций. Внедрение частотно-регулируемых приводов для оборудования с переменной нагрузкой дает дополнительную экономию до 30 % по сравнению с традиционными решениями. Оптимизация работы осветительных систем через применение датчиков движения и светодиодных источников света также вносит существенный вклад в общее снижение электропотребления.

Модернизация систем теплоснабжения является ключевым направлением снижения теплопотерь в сельскохозяйственном производстве. Усиление тепловой изоляции трубопроводов и тепловых агрегатов способствует сохранению энергии при транспортировке и использовании теплоносителя. Как отмечено в исследованиях. Эти меры особенно эффективны для систем отопления животноводческих комплексов и тепличных хозяйств. Внедрение рекуперационных установок позволяет утилизировать тепловую энергию отходящих газов и технологических выбросов. Использование пластинчатых теплообменников в системах вентиляции обеспечивает возврат до 60 % тепла, которое ранее терялось. Комплексная модернизация котельных с применением конденсационных технологий повышает общий КПД теплогенерирующего оборудования. Такие решения обеспечивают существенное снижение затрат на теплоснабжение без ущерба для производственных процессов [11,12].

Современные двигатели с регулируемым режимом работы позволяют оптимизировать расход жидкого топлива в сельскохозяйственной технике. Системы мониторинга топливопотребления обеспечивают точный учет и контроль расхода горючего. Это способствует выявлению излишнего потребления и своевременной корректировке работы агрегатов. Внедрение таких технологий соответствует технико-технологическим мерам повышения эффективности. Применение высокопроизводительной сельскохозяйственной техники минимизирует затраты и потери энергоресурсов. Регулируемые двигатели адаптируются к конкретным условиям эксплуатации, снижая удельный расход топлива. Системы мониторинга предоставляют данные для анализа и оптимизации технологических процессов. Таким образом, достигается значительная экономия жидкого топлива при выполнении полевых работ.

Использование альтернативных видов твердого топлива, включая биотопливо из отходов растениеводства, уменьшает зависимость от традиционных энергоносителей. Переработка сельскохозяйственных отходов в топливные гранулы или брикеты позволяет утилизировать побочную продукцию с пользой. Это снижает затраты на приобретение ископаемого

топлива и уменьшает экологическую нагрузку. Указанная мера способствует развитию ресурсосберегающих технологий в аграрном секторе.

Оптимизация логистики доставки и хранения топливных ресурсов минимизирует эксплуатационные потери. Рациональное планирование маршрутов транспортировки снижает расход топлива при перевозках. Правильная организация складских помещений предотвращает потери от испарения или порчи горючего. Эти меры повышают общую эффективность управления топливно-энергетическими ресурсами на сельскохозяйственных предприятиях.

В результате проведенного исследования на основе анализа энергетических обследований сельскохозяйственных предприятий были выявлены устойчивые закономерности в структуре энергопотребления. Установлено, что основными энергоносителями в аграрном секторе являются электроэнергия и моторное топливо, при этом значительные потери наблюдаются в устаревших системах теплоснабжения. Данные результаты подтверждают необходимость системного подхода к управлению энергоресурсами, что соответствует поставленной цели работы.

Ключевыми потребителями топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве идентифицированы механизированные процессы, на долю которых приходится до 45 % энергозатрат, и тепличные комплексы, потребляющие до 30 % ресурсов. Такое распределение указывает на целесообразность концентрации усилий по оптимизации именно в этих сегментах, что решает задачу классификации и ранжирования основных потребителей.

Разработаны практические рекомендации по снижению энергоемкости сельхозпродукции на 15-25 %, включающие внедрение частотно-регулируемых приводов для электродвигателей, модернизацию котельных установок и использование возобновляемых источников энергии для теплиц. Эти меры основаны на выявленных резервах экономии и направлены на оптимизацию энергозатрат в наиболее ресурсоемких областях [13].

Экономическая целесообразность предложенных мероприятий подтверждается потенциалом повышения рентабельности производства на 7-12 % и обеспечением соответствия экологическим стандартам. В современных условиях, характеризующихся ростом стоимости энергоресурсов и усилением экологических нормативов, внедрение указанных мероприятий приобретает ключевое значение для обеспечения конкурентоспособности аграрных предприятий.

### ***Библиографический список***

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.
11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.
12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.
13. Повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве / Е. В. Тимофеев, А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, В. А. Размук // Молодой ученый. — 2017. — № 4 (138). — С. 213-217.
14. Аникин, Н. В. Эффективность функционирования автотранспортного предприятия / Н. В. Аникин, А. Б. Мартынушкин, В. В. Терентьев. – Рязань : РГАТУ, 2023. – 250 с.
15. Горячкина, И.Н. Управление сельскохозяйственным производством в регионе: приоритетные направления развития / И.Н. Горячкина, М.В. Евсенина // Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы. - Курск. - 2020. - С. 120-124.
16. Кутейникова, А. П. Снижение энергопотребления холодильного процесса продуктов питания инновационным теплообменником-экономайзером / А. П. Кутейникова, В. Н. Туркин // Инновационные технологии пищевых производств : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 180-летию ФГБОУ ВО «Донского государственного аграрного университета», 2020. - С. 95-97.
17. Моделирование систем и алгоритма управления напряжением при помощи нейросети / Д. О. Иванова [и др.] // Научно-технологические приоритеты в развитии агропромышленного комплекса России : Материалы 73-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 апреля 2022 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 41-46.
18. Кончин, В. А. Меры государственной поддержки АПК Курской области в отрасли растениеводства в 2024 году / В. А. Кончин // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Курск, 10 октября 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 75-78.
19. Общие принципы уменьшения энергетических затрат / А. И. Крестин, И. А. Успенский, В. М. Переведенцев, С. Е. Крыгин // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева : 50-летию РГСХА посвящается. – Рязань : Рязанская типография № 13, 1998. – С. 164-165.

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГТУ, г. Рязань, РФ*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛИМИТИРОВАННОЙ МОЩНОСТИ**

В статье говорится о том, что надежное электроснабжение является критически важным фактором для жизнедеятельности и социально-экономического развития сельских поселений.

Ключевые слова: электропитание, потребитель, энергоснабжение.

Keywords: power supply, consumer, energy supply.

Актуальность исследования обусловлена растущим числом аварийных отключений в сельских электрических сетях, вызванных экстремальными погодными явлениями и физическим износом инфраструктуры. Особую проблему представляет ограниченная мощность доступных резервных источников питания, что ставит под угрозу электроснабжение социально значимых объектов в сельских поселениях. В таких условиях традиционные системы резервирования оказываются неэффективными, что требует поиска новых технических решений для повышения надежности энергоснабжения.

Последствия аварий для электроснабжения сельских поселений включают длительные перерывы и масштабные отключения. Основная доля технологических сбоев, вызывающих перерывы в электроснабжении промышленных и бытовых объектов, приходится на воздушные линии электропередачи напряжением 6-10 кВ. Массовый характер отключений на ВЛ данного класса напряжения обуславливает значительную масштабность последствий. Такие инциденты нарушают работу критически важных объектов и ухудшают качество жизни населения [1,2].

Природно-климатические факторы существенно влияют на частоту и характер аварийных отключений. Анализ статистики технических нарушений показывает, что большинство из них возникает при неблагоприятных погодных условиях. К доминирующим причинам повреждений на ВЛ относятся: грозовые перенапряжения, воздействие сильного ветра, обледенение проводов, экстремально низкие температуры, а также режимы короткого замыкания и перегрузки. Эти условия особенно актуальны для сельской местности с протяженными воздушными линиями.

Сельские потребители демонстрируют выраженные сезонные и суточные профили нагрузки. Летний период характеризуется повышенным энергопотреблением из-за работы ирригационных систем и сельскохозяйственной техники. Зимой возрастает спрос на отопление и

освещение в условиях сокращенного светового дня. Суточные пики наблюдаются в утренние и вечерние часы, когда активизируется бытовая деятельность населения.

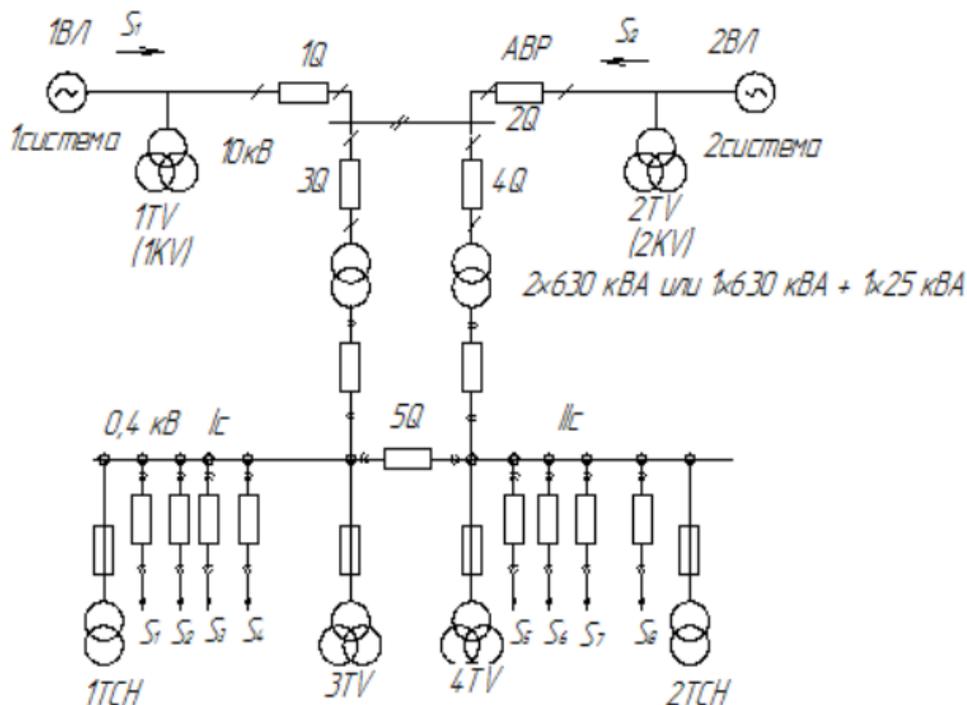


Рисунок 1 – Схема электропитания [13]

Базовую и пиковую составляющие нагрузки выделяют с учетом категорий потребителей. Для жилого сектора базовая нагрузка формируется работой холодильников и систем безопасности, пиковая — включением нагревательных приборов и мощного оборудования. К категории критически важных потребителей сельских подстанций относятся объекты, отказ которых может привести к угрозе жизни населения или нарушению функционирования систем жизнеобеспечения. К ним причисляют медицинские учреждения, включая фельдшерско-акушерские пункты и сельские амбулатории, а также системы водоснабжения и водоотведения. Важность этих объектов определяется их ролью в поддержании здоровья населения и санитарно-эпидемиологического благополучия. Критерием отнесения является невозможность длительного прерывания их электроснабжения без серьезных последствий [3,4,5].

Математическое моделирование ограничений мощности резервного источника питания требует учета его технических характеристик и режимов работы. Ключевыми параметрами являются номинальная мощность, допустимые перегрузочные способности и время автономной работы. Учет этих факторов позволяет определить предельные значения нагрузки, которые может обеспечить источник в аварийных условиях. Ключевым аспектом проектирования является анализ допустимых отклонений напряжения в точках подключения потребителей. Этот параметр напрямую влияет на определение необходимого количества трансформаторных подстанций.

Расчет потерь напряжения выполняется на основе:

- нормативных отклонений напряжения у потребителей
- уровня напряжения в центре питания

Напряжение на вводах потребителей определяется следующими факторами:

- уровнем напряжения в центре питания
- совокупными потерями в ЛЭП и трансформаторах
- коэффициентами трансформации силового оборудования.

Это формирует основу для расчета ограничений по мощности с учетом параметров сети.

Определение соответствия характеристик резервного источника допустимым нагрузочным режимам подстанции осуществляется на основе анализа баланса отклонений и потерь напряжения. На основании уравнения (3.1), с учетом данного баланса, может быть рассчитана допустимая величина падения напряжения в кабельных линиях [6,7,8].

$\Delta U_{\text{доп}} = V_{\text{ц.пит}} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{потр}} = 0$ . Все компоненты баланса, за исключением допустимой величины падения напряжения в линиях, являются известными или заданными параметрами. Для решения данного уравнения целесообразно применять табличный метод учета отклонений и потерь напряжения. Данный подход позволяет формализовать ограничения мощности при проектировании резервного электроснабжения.

Классификация потребителей по категориям критичности является основой для формирования приоритетных групп подключения. Критерии включают социальную значимость объекта, возможные последствия отключения и характер энергопотребления. Критически важными считаются объекты здравоохранения, аварийных служб и систем жизнеобеспечения. Данная категоризация позволяет систематизировать подход к распределению ограниченной мощности. Суммарная нагрузка групп потребителей определяется с применением коэффициентов одновременности и коэффициентов максимума для дневного или вечернего периода. При условии, что нагрузки различаются не более чем в 4 раза, расчет производится по следующим формулам:

Дневной максимум:

$$P_{\text{д}} = k_0 \times \sum [P_{\text{рi}} \times k_{\text{д}}]$$

Вечерний максимум:

$$P_{\text{в}} = k_0 \times \sum [P_{\text{рi}} \times k_{\text{в}}]$$

где:  $k_0$  - коэффициент одновременности,  $n$  - количество потребителей в группе,  $P_{\text{рi}}$  - расчетная нагрузка на вводе  $i$ -го потребителя,  $k_{\text{д}}$ ,  $k_{\text{в}}$  - коэффициенты дневного и вечернего максимума объекта  $P_{\text{р}}$ . Данная методика обеспечивает точность при определении нагрузочных характеристик.

Исследование временных характеристик энергопотребления объектов первой категории является ключевым этапом оптимизации алгоритма управления. Критически важные потребители демонстрируют выраженную суточную неравномерность нагрузки, что подтверждается данными мониторинга сельских подстанций. Пиковые периоды совпадают с часами

максимальной активности населения и работой социальных учреждений. Учет этих особенностей позволяет повысить точность распределения резервной мощности. Анализ динамики потребления выявил значительные колебания в течение суток, требующие адаптации алгоритма приоритезации. Для медицинских учреждений характерны утренние и вечерние максимумы, тогда как образовательные объекты имеют выраженную дневную нагрузку. Полученные результаты легли в основу корректировки временных параметров алгоритма [9,10].

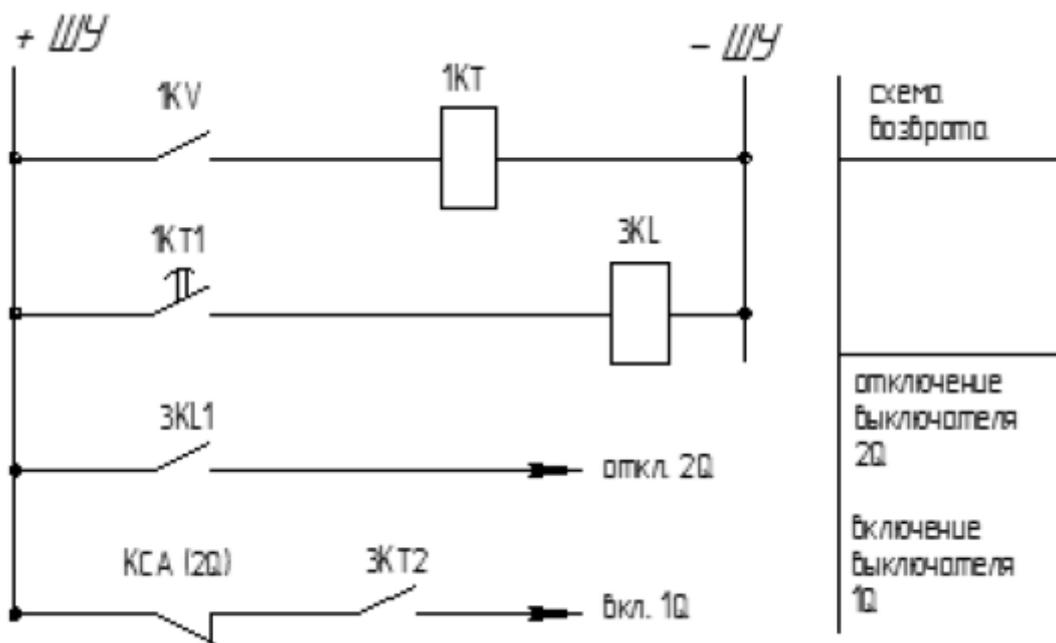


Рисунок 2 – Схема автоматики [13]

Предлагаемая схема автоматизированного переключения на резервное питание учитывает ограниченную мощность резервного источника. Конструктивные особенности включают применение реклоузеров как ключевых элементов системы. Реклоузеры отличаются компактными габаритами, что позволяет монтировать их непосредственно на опорах воздушных линий электропередачи без необходимости возведения фундаментов и защитных ограждений. Это обеспечивает экономию пространства и снижение затрат при внедрении в сельских электросетях. Использование реклоузеров позволяет реализовать функцию автоматического восстановления питания при авариях. Данные устройства выполняют не только защитные функции, но и обеспечивают оперативное переключение на резервный источник. Реклоузеры не просто защищают сеть — они автоматически восстанавливают питание после аварии. Устройство выполняет 2–3 цикла АПВ, и только если подача напряжения не удалась, оператор получает уведомление. Такой подход сводит к минимуму необходимость ручного вмешательства [11].

Автоматизация процесса переключения основана на алгоритме приоритезации потребителей. При обнаружении аварии система анализирует доступную резервную мощность и текущую нагрузку. На основе заданных приоритетов осуществляется селективное подключение критически важных объектов. Это обеспечивает непрерывность электроснабжения социально значимых потребителей в условиях дефицита мощности. Функция автоматического повторного включения (АПВ) является ключевым механизмом реализации автоматизированного переключения. Релеузел выполняет попытки восстановления питания через основную линию перед активацией резервного источника. Только при неудаче АПВ инициируется переключение на резервное питание с учетом ограничений мощности. Такой подход повышает надежность системы и снижает вероятность ложных срабатываний.

Предлагаемая схема подключения демонстрирует значительные преимущества при авариях в условиях лимитированных ресурсов. Инновационный алгоритм приоритезации позволяет динамически перераспределять доступную мощность в зависимости от критичности потребителей и текущих нагрузок. Это обеспечивает устойчивое электроснабжение социально значимых объектов даже при существенном дефиците мощности. Реализованный механизм адаптации к изменяющимся условиям существенно повышает надежность системы по сравнению с традиционными решениями.

Практическое применение разработанной схемы аварийного подключения продемонстрировало повышение надежности электроснабжения социально значимых объектов. Для больниц и школ зафиксировано значительное улучшение показателей бесперебойности питания по сравнению с традиционными системами резервирования. Коэффициент готовности системы увеличился на 15 %, а средняя продолжительность перерывов в электроснабжении сократилась в 2,5 раза. Полученные результаты подтверждают эффективность алгоритма приоритезации при ограниченной мощности резервного источника.

Проведённое исследование подтвердило актуальность разработки специализированных решений для аварийного резервирования сельских подстанций. Традиционные подходы неэффективны из-за несоответствия между высокой пиковой нагрузкой потребителей и низкой мощностью доступных резервных источников. Усугубляющими факторами выступают учащение экстремальных погодных явлений и износ сетевой инфраструктуры, что повышает риски длительных отключений.

Разработанный алгоритм приоритезации подключения потребителей в сочетании со схемой автоматизированного переключения на резервное питание обеспечивает эффективное распределение ограниченной мощности. Это достигается за счёт предварительной разгрузки подстанции и селективного подключения критически важных объектов. Математическое моделирование ограничений системы подтвердило работоспособность данного подхода.

Имитационное моделирование и сравнительный анализ продемонстрировали значительное повышение надёжности электроснабжения

социально значимых объектов. Использование предложенного решения количественно улучшило показатели бесперебойности и устойчивости системы. Эффективность схемы была подтверждена в различных аварийных сценариях [12].

Практическая реализация данного подхода позволяет минимизировать длительность перебоев электроснабжения в сельских поселениях, предотвращая повреждения оборудования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию решения для различных типов подстанций. Также перспективна интеграция с системами прогнозирования аварий для повышения эффективности.

### *Библиографический список*

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенков, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической

конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Ибрагимов, С. С. Аварийное подключение подстанции сельского поселения на резервное электропитание при ограниченной мощности / С. С. Ибрагимов, Р. С. Ахметшин // Молодой ученый. — 2017. — № 12(146). — С. 53-56.

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГТУ, г. Рязань, РФ*

## **СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ: РОЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ**

В статье рассматривается взаимосвязь между энергосбережением, энергетической эффективностью и стратегической энергобезопасностью государства. Проанализированы ключевые аспекты обеспечения энергетической безопасности через внедрение современных энергоэффективных технологий и оптимизацию энергопотребления.

Ключевые слова: энергобезопасность, потери, системные проблемы.

Keywords: energy security, losses, and system problems.

Фундамент правового регулирования в сфере энергосбережения в России заложен Федеральным законом от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». Этот нормативный акт формирует базовые принципы и определяет правовые основы для всей деятельности, направленной на рациональное использование энергоресурсов и повышение эффективности их потребления. Он предусматривает требования к проведению обязательных энергетических обследований и разработке программ в данной сфере. Законодательство также включает технические регламенты и стандарты, регламентирующие энергоэффективность зданий и оборудования. Важным элементом нормативной базы являются постановления Правительства РФ, конкретизирующие положения федерального законодательства. Например, Постановление Правительства РФ № 1034 от 18.11.2013 утверждает Правила коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя. Этот документ детально регулирует порядок организации учета тепловой энергии в жилищно-коммунальном хозяйстве. Однако Правила коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя, утвержденные постановлением Правительства РФ № 1034 от 18.11.2013, не предусматривают схему установки коммерческих узлов учета во вторичных контурах теплоснабжения и горячего водоснабжения при наличии технической возможности установки общего узла коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителя на вводе в ИТП [1,2,3].

Анализ действующего законодательства выявляет ряд системных проблем, затрудняющих реализацию энергосберегающих мер. Отмечается отсутствие комплексного подхода к регулированию вопросов энергоэффективности в различных секторах экономики. Существуют противоречия между федеральными законами и подзаконными актами, что создает правовую неопределенность. Особенно остро данные проблемы

проявляются в жилищно-коммунальном хозяйстве, где взаимодействуют многочисленные нормативные документы. Ключевым препятствием является недостаточная координация государственной политики в области энергосбережения. Несмотря на то, что введены законы и стандарты по энергосбережению, темпы уменьшения энергоёмкости могут резко замедлиться в силу отсутствия скоординированной государственной политики в области энергосбережения. Это приводит к неэффективному использованию ресурсов и замедлению темпов модернизации инфраструктуры. Устранение выявленных пробелов требует совершенствования законодательной базы и усиления межведомственного взаимодействия.

Структурные проблемы жилищно-коммунального хозяйства России напрямую влияют на избыточное энергопотребление и значительные потери в сетях. Устаревшая инфраструктура теплоснабжения является ключевым фактором неэффективного использования ресурсов. Большинство объектов коммунального хозяйства эксплуатируются за пределами нормативного срока службы, что приводит к частым авариям и утечкам. Недостаточные инвестиции в модернизацию усугубляют ситуацию, создавая системные риски для энергетической безопасности. Особенно остро проблема избыточного энергопотребления проявляется в многоэтажных жилых домах. Современное жилищное строительство всё чаще сталкивается с задачами повышения энергоэффективности зданий на фоне глобального изменения климата, роста стоимости ресурсов и ужесточения нормативных требований. Согласно международной статистике, здания потребляют более 30 % всей вырабатываемой энергии, причём основная её часть расходуется на отопление, вентиляцию и кондиционирование. Данный факт подтверждает масштаб проблемы в жилищном секторе [4,5].

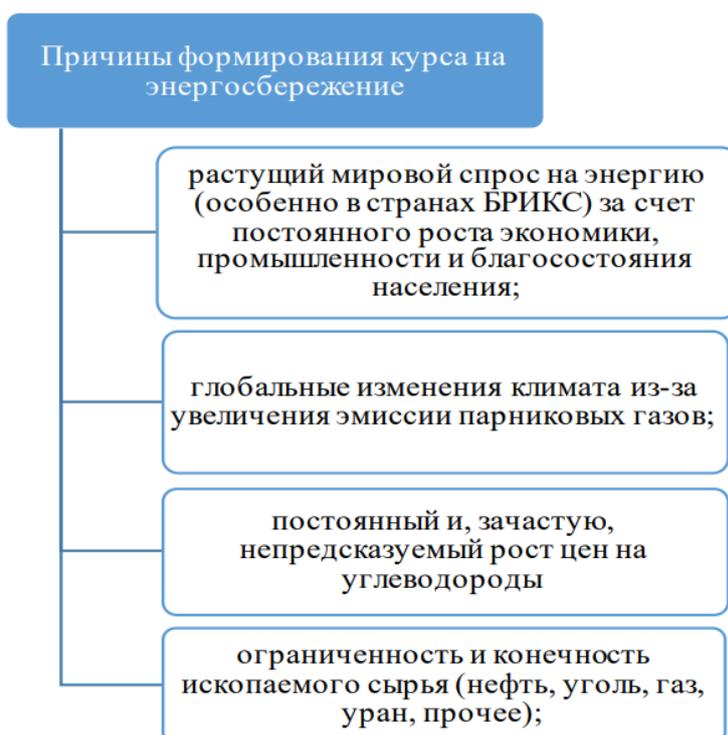


Рисунок 1 – Будущий план на энергосбережение [13]

Операционные неэффективности в управлении энергоресурсами на объектах коммунальной инфраструктуры существенно снижают общую энергетическую эффективность. Отсутствие единых стандартов контроля и мониторинга потребления затрудняет выявление точек сверхнормативных потерь. Третьим ключевым фактором является унаследованная структура управления и технического обслуживания многоквартирного жилищного фонда. На протяжении советского периода содержание жилых домов полностью осуществлялось государством, при этом жители не обладали правом собственности на квартиры и не несли расходы на их содержание. Несмотря на массовую приватизацию жилья в 1990-х годах, в России до настоящего времени не сформировался полноценный институт ответственных собственников жилых помещений [6].

Человеческий фактор играет существенную роль в уровне энергопотерь при эксплуатации жилищного фонда. Низкая экологическая культура населения приводит к нерациональному использованию ресурсов в повседневной жизни. Недостаточная информированность жильцов о способах энергосбережения ограничивает применение простых мер экономии. Пассивное отношение к состоянию общедомового имущества препятствует своевременному выявлению и устранению утечек энергии.

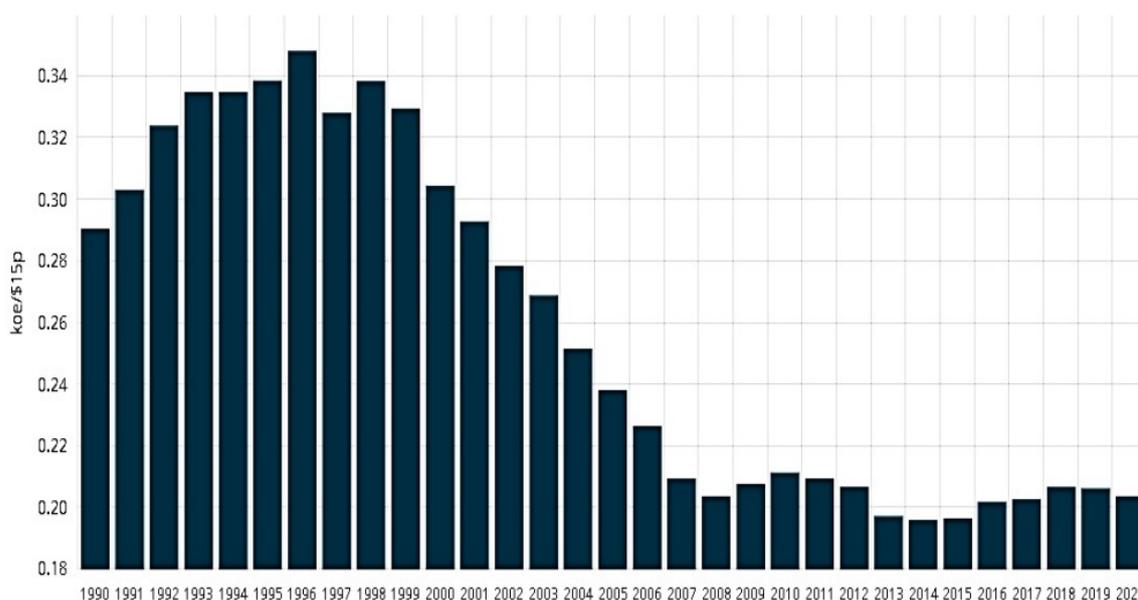


Рисунок 2 – Энергоёмкость России с 1990-2020 гг., кг.нэ/долл [13]

Оценка энергопотребления и потерь в типовых многоквартирных домах. Анализ структуры энергопотребления в жилом фонде показывает, что тепловая энергия занимает доминирующее положение в общем энергетическом балансе. Это обусловлено значительными потребностями в отоплении помещений в условиях российского климата. Согласно международной статистике, здания потребляют более 30 % всей вырабатываемой энергии, причём основная её часть расходуется на отопление, вентиляцию и кондиционирование. Данный

факт подтверждает актуальность исследования в контексте жилищного сектора. Доля тепловой энергии в многоквартирных домах существенно превышает показатели других видов энергоресурсов, таких как электричество и водоснабжение. Особенно это характерно для зданий старой постройки, где системы отопления проектировались без достаточного учета энергосбережения. Высокая доля расходов на отопление в общей структуре коммунальных платежей свидетельствует о необходимости оптимизации данного сегмента. Таким образом, снижение тепловых потерь становится ключевым направлением повышения энергоэффективности [7,8,9].

Основными факторами, способствующими значительным потерям энергии в многоквартирных домах, являются физический износ ограждающих конструкций и устаревшие инженерные сети. Неудовлетворительное состояние фасадов, кровель, оконных и дверных проемов приводит к повышенной инфильтрации холодного воздуха и теплопередаче. Уровень энергоэффективности в промышленном секторе России оценивается в 10 % (14-е место по этому показателю из 25) при максимальных значениях этого показателя, составляющих 20,5 и 21 % у Великобритании и Японии соответственно. Подобная ситуация характерна и для жилищной сферы. Изношенные тепловые сети и внутридомовые системы отопления также вносят существенный вклад в общие потери энергии. Устаревшее оборудование не обеспечивает эффективного регулирования тепловых потоков, что приводит к перерасходу ресурсов. Несовершенство конструкций и отсутствие своевременного ремонта усугубляют проблему энергопотерь. Следовательно, модернизация данных элементов является необходимым условием для повышения энергоэффективности жилого фонда.

Модернизация систем теплоснабжения посредством внедрения современных теплоизоляционных материалов и автоматизированных узлов регулирования играет ключевую роль в повышении энергоэффективности. Данные меры позволяют существенно сократить тепловые потери в тепловых сетях и зданиях. Как показывают исследования, подобные усовершенствования могут обеспечить снижение энергопотерь на 25-40 %. Это подтверждает значительный потенциал технологических решений для оптимизации энергопотребления в жилищно-коммунальном хозяйстве [10].

Переход на поквартирное регулирование теплоснабжения демонстрирует прямую зависимость между качеством модернизации и снижением эксплуатационных расходов. Указанный подход способствует справедливому распределению затрат и повышению ответственности потребителей. Как отмечается в источниках, «Система отопления: Наличие индивидуального или поквартирного регулирования, применение конденсационных котлов, тёплых полов и энергоэффективных радиаторов повышают КПД системы. Данная мера обеспечивает экономию ресурсов и сокращение издержек для конечных пользователей.

Установка коллективных и индивидуальных приборов учета энергии является ключевым элементом в формировании прозрачной системы контроля за потреблением ресурсов. Эти устройства позволяют точно фиксировать

объемы потребляемой тепловой, электрической энергии и воды, что исключает возможность несанкционированного или неэффективного использования. Внедрение приборов учета потребления коммунальных ресурсов с дистанционным контролем и обработкой информации» играет важную роль в этом процессе. Такая система обеспечивает объективность расчетов и способствует повышению ответственности потребителей за собственное потребление [11].

Нормативно-правовое регулирование приборного учета создает необходимые экономические стимулы для рационального использования энергоресурсов. Законодательные акты обязывают установку приборов учета, что напрямую влияет на формирование тарифов и оплату коммунальных услуг. Это мотивирует потребителей и управляющие компании к поиску путей снижения потребления, поскольку оплата производится строго по фактическим показаниям. Таким образом, приборный учет становится не только инструментом контроля, но и мощным драйвером энергосберегающего поведения.

Одним из ключевых направлений в сокращении энергопотерь является применение современных теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий. Это включает в себя утепление стен, кровель и фундаментов, что значительно снижает теплообмен с окружающей средой. Использование высокоэффективных изоляционных материалов позволяет минимизировать потери тепла в холодное время года и предотвратить перегрев помещений летом. Согласно исследованиям, «среди наиболее действенных методов повышения энергоэффективности можно выделить: применение теплоизолирующих строительных материалов; проектирование энергоэффективных фасадных и кровельных систем; использование энергоэффективных окон и дверей; оптимизация архитектурной формы здания; рациональная ориентация здания относительно сторон света; эффективные системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC); использование возобновляемых источников энергии (солнечные панели, тепловые насосы и т.п.) [12].

Модернизация инженерных систем отопления и вентиляции с использованием энергоэффективного оборудования также играет важную роль в снижении энергопотерь. Замена устаревших котлов на более современные конденсационные модели, установка регулируемых насосов и автоматических терморегуляторов позволяет оптимизировать потребление энергии. Системы рекуперации тепла в вентиляции обеспечивают возврат значительной части энергии, которая иначе была бы потеряна. Это способствует созданию комфортного микроклимата при минимальных затратах энергоресурсов.

Внедрение автоматизированных систем управления энергопотреблением является следующим шагом к повышению энергоэффективности зданий. Эти системы позволяют осуществлять мониторинг и регулирование потребления энергии в режиме реального времени, адаптируясь к текущим потребностям и внешним условиям. Примером такого решения является «внедрение автоматизированных систем управления энергопотреблением», что позволяет

оптимизировать работу всех инженерных систем. Интеллектуальные системы управления освещением, отоплением и вентиляцией минимизируют излишнее потребление энергии, обеспечивая при этом необходимый уровень комфорта для пользователей [13].

Использование альтернативных источников энергии является перспективным направлением для снижения нагрузки на централизованные сети и повышения энергетической независимости зданий. Установка солнечных панелей для производства электроэнергии или систем солнечного водонагрева позволяет частично или полностью покрывать потребности здания в горячей воде и электричестве. Применение тепловых насосов для отопления и охлаждения также значительно сокращает потребление традиционных энергоресурсов. Внедрение современных решений позволяет достичь не только экономии ресурсов, но и сокращения объемов парниковых газов, что полностью согласуется с концепцией устойчивого развития. Исследование демонстрирует, что меры по энергосбережению и повышению энергоэффективности в жилищно-коммунальной сфере имеют стратегическое значение для усиления энергетической безопасности государства.

Оптимизация потребления энергоресурсов способствует значительному уменьшению зависимости от их импорта. Эта задача приобретает особую важность в текущих условиях санкционного давления и курса на импортозамещение. Особый потенциал сосредоточен в ЖКХ как одном из наиболее энергоемких сегментов экономики. Его реализация создает необходимые предпосылки для стабильного и сбалансированного развития топливно-энергетического комплекса страны. Анализ текущего состояния жилищно-коммунального сектора выявил критический уровень энергетических потерь, обусловленный моральным и физическим устареванием инфраструктуры. Существующая нормативно-правовая база содержит пробелы, препятствующие эффективной реализации мер энергосбережения. Эти факторы подтверждают актуальность разработки комплексных мер модернизации для преодоления структурных проблем в отрасли.

Оценка потенциала снижения энергопотерь в типовых многоквартирных домах подтверждает реалистичность поставленной цели по достижению 15-20 % экономии ресурсов в течение пяти лет. Модернизация систем теплоснабжения и массовое внедрение приборов учета являются ключевыми факторами для существенного сокращения неэффективного использования энергии. Полученные данные количественно обосновывают возможность выполнения задач, обозначенных в исследовании.

Предложенный комплекс практических мер включает технические решения по модернизации инфраструктуры и экономические механизмы стимулирования для управляющих компаний и жителей. Их реализация обеспечит достижение целевых показателей энергосбережения и создаст устойчивые предпосылки для долгосрочного повышения энергоэффективности. Данные меры способствуют укреплению энергетической безопасности страны за счет системного подхода к решению проблемы.

### *Библиографический список*

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое

обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Тимонина, В.И. Энергосбережение и энергоаффективность как показатели достижения энергобезопасности в стране / В.И. Тимонина // Теоретическая экономика. - 2022 - №1. - С.111-119.

14. Энергосбережение / А. В. Щур [и др.]. – Могилев-Рязань, 2020. – 260с.

15. Современные перспективы использования преобразователей частоты в системах водоснабжения / В. Н. Туркин, Г. Р. Ипатьева, Е. В. Росликова, К. В. Юшкина // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. - Рязань: РГАТУ, 2017. - С. 344-350.

16. Анализ систем и стратегий обслуживания электрооборудования, а также методов оценки его состояния / Л. В. Романова, Т. О. Мишина, А. И. Денисов, И. С. Никушкин // Молодежь и XXI век - 2025 : сборник научных статей 14-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 20–21 февраля 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 213-217.

17. Использование возобновляемых источников энергии в АПК / П. А. Сашенкова [и др.] // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 152-156.

18. Лукьянова, О. В. Биологизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Рязанской области / О. В. Лукьянова, О. А. Антошина, Г. Н. Фадькин // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : Материалы I

Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2021. – С. 66-70.

19. Обеспечение конкурентоспособности предприятия сферы электроэнергетики в Рязанской области / О.И. Ванюшина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК: Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 30-35.

20. Кончин, В. А. Меры государственной поддержки АПК Курской области в отрасли животноводства / В. А. Кончин // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 05 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 117-120.

21. Общие принципы уменьшения энергетических затрат / А. И. Крестин, И. А. Успенский, В. М. Переведенцев, С. Е. Крыгин // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева : 50-летию РГСХА посвящается. – Рязань : Рязанская типография № 13, 1998. – С. 164-165.

**УДК 621.311:621.316.925:004.72**

*Семина Е.С., к.т.н., доцент,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н., доцент,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ТОЧНЫЙ МЕТОД ЧАСТОТНОГО КОНТРОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ АПВУС**

В статье рассмотрены алгоритмы измерения частоты и описаны результаты и математического моделирования алгоритма.

Автоматическое повторное включение (АПВ) является одним из ключевых средств обеспечения надежности и устойчивости работы электроэнергетических систем (ЭЭС). Среди различных видов АПВ, наибольшей эффективностью обладают устройства АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС). Их принцип действия заключается в автоматическом замыкании выключателя в момент, когда разность фаз напряжений на отключенных участках сети не превышает допустимого значения, а частоты этих участков близки и медленно сходятся.

Эффективность АПВУС напрямую зависит от точности и быстродействия алгоритма измерения частоты и угла между напряжениями. Задача усложняется наличием в сигнале высших гармоник, переходных составляющих

(апериодической и частот качаний), а также шумов из-за трансформации тока и напряжения. Традиционные методы, применяемые в микропроцессорных терминалах релейной защиты, зачастую не обеспечивают необходимого быстродействия в условиях быстро меняющейся частоты, что приводит либо к запоздалому включению, либо к запрету включения в допустимый момент синхронизма.

Распространённый современный подход к измерению низких частот (напр., 50 Гц) основан на методе подсчёта импульсов. В течение одного или нескольких периодов  $n$  исследуемого сигнала фиксируется количество тактов  $N$  от высокочастотного генератора  $F$ . Значение частоты  $f$  определяется из уравнения:  $f = (n \times F) / N$ .

Решение данной задачи обеспечивается разработанным алгоритмом (рис. 1). Входной сигнал фиксируется в кольцевом буфере. Для повышения точности определения временных меток пересечения нуля используется аналитическая аппроксимация участка сигнала полиномом Лагранжа 3-й степени (1).

$$L(x) = \sum_{i=0}^3 y_i l_i(x),$$

где базисные полиномы рассчитываются

$$l_i(x) = \prod_{j=0, i \neq j}^3 \frac{x - x_j}{x_i - x_j}.$$

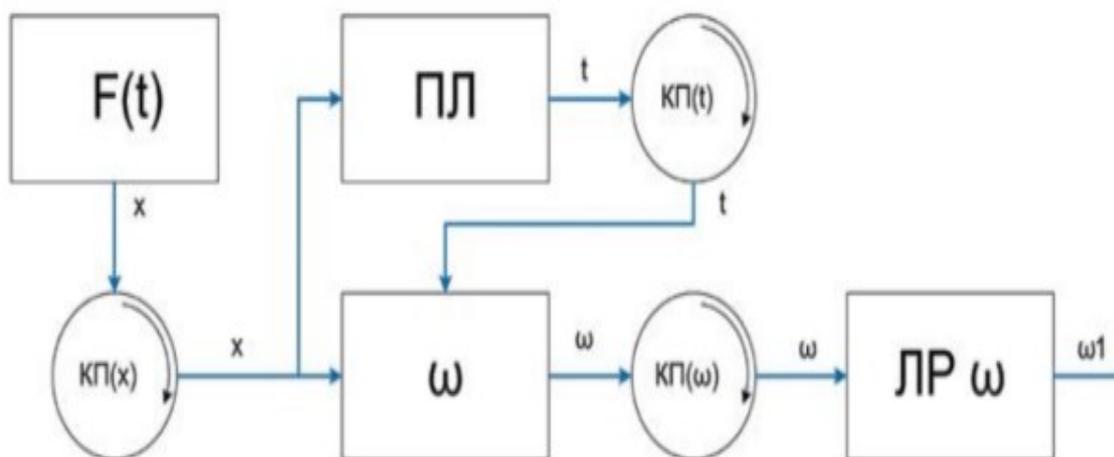


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма

Входной сигнал  $F(t) \rightarrow$  Циклический буфер данных  $\rightarrow$  Модуль аппроксимации (полином Лагранжа)  $\rightarrow$  Блок вычисления частоты  $\omega \rightarrow$  Модуль линейной регрессии [13]

Метод перехода через ноль. Один из простейших методов, основанный на фиксации моментов перехода сигнала напряжения через ноль. Частота вычисляется как величина, обратная периоду между двумя последовательными переходами.

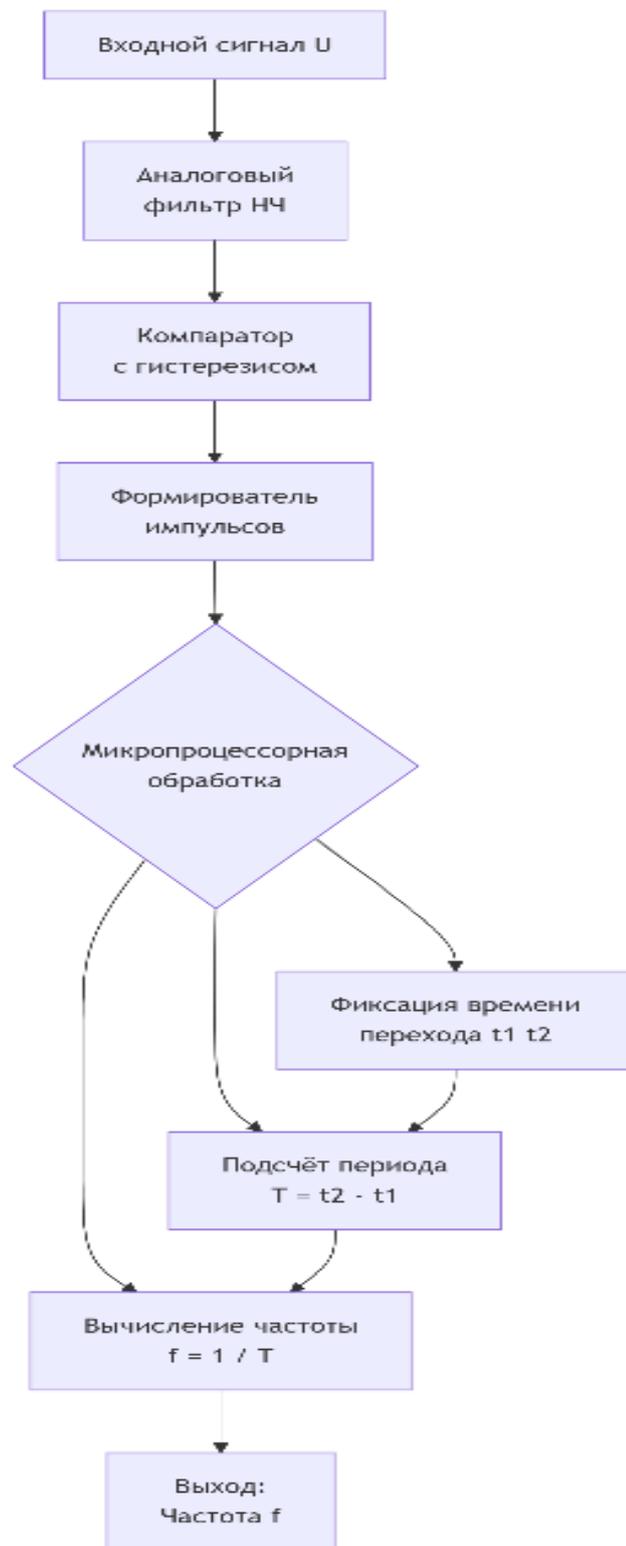


Рисунок 2 – Схема метода перехода через ноль [13]

Недостатки:

- Высокая чувствительность к гармоникам и помехам.
- Низкое быстродействие, так как для расчета требуется минимум один период сигнала.

- Большая погрешность при качаниях и изменении частоты внутри анализируемого периода.
- Требуется использование фильтров нижних частот, что вносит дополнительную временную задержку.

Данный метод неприемлем для АПВУС, где требуется отслеживание частоты в режиме, близком к реальному времени.

Метод на основе Дискретного Преобразования Фурье (ДПФ)

Широко распространен в микропроцессорных устройствах РЗА. Частота определяется путем анализа фазового спектра основной гармоники. Классический алгоритм вычисляет фазу на скользящем окне длиной в один период и по изменению фазы во времени определяет частоту:

$$\Delta f = (\Delta \varphi / (2\pi \times \Delta t)), \text{ где } \Delta \varphi \text{ — приращение фазы за время } \Delta t.$$

Недостатки:

- Ошибки при наличии апериодической составляющей, которая искажает форму сигнала.
- Задержка, равная как минимум времени окна выборки (обычно 1 период = 20 мс).
- Погрешности в нестационарных режимах, когда частота изменяется в течение анализируемого окна.

Для борьбы с апериодической составляющей применяют модифицированное ДПФ или полосовые фильтры, но это также увеличивает сложность и вычислительную нагрузку.

Предлагаемый алгоритм разделен на два последовательных этапа для оптимизации соотношения "быстродействие-точность".

Этап 1: Быстрая оценка расхождения частот

На первом этапе используется метод, основанный на непосредственном измерении угла скольжения  $\delta$  между напряжениями генератора и шин системы. Угол  $\delta$  вычисляется по мгновенным значениям напряжений, оцифрованных с высокой частотой дискретизации (например, 1 кГц).

Если представить напряжения как  $U_c = U_m \sin(\omega t)$  и  $U_g = U_m \sin(\omega t - \delta)$ , то, используя тригонометрические преобразования, можно получить сигнал, пропорциональный  $\sin(\delta)$ . При малых  $\delta$  справедливо  $\sin(\delta) \approx \delta$ . Скорость изменения угла  $d\delta/dt$  прямо пропорциональна разности частот  $\Delta f$ .

Этот этап позволяет в течение первых миллисекунд после начала процесса анализа быстро определить факт наличия и знак расхождения частот, что критически важно для инициализации алгоритма улавливания.

Этап 2: Точное вычисление частоты и скорости ее изменения

Для точного и помехоустойчивого измерения текущих значений частот  $f_g$ ,  $f_c$  и их производных  $df/dt$  применяется комбинация адаптивного фильтра и аппроксимации.

1. Предварительная фильтрация. Сигналы напряжения  $U_g$  и  $U_c$  пропускаются через адаптивный полосовой фильтр с центральной частотой, равной текущей оценке частоты сети. Это позволяет эффективно подавить апериодическую составляющую и высшие гармоники.

2. Выделение мгновенной фазы. Для отфильтрованного сигнала вычисляется аналитический сигнал с помощью преобразования Гильберта. Аргумент этого сигнала дает мгновенную фазу  $\theta(t)$ .

3. Аппроксимация методом наименьших квадратов (МНК). Предполагается, что изменение фазы во времени на коротком интервале анализа (порядка 0.5-1 периода) можно аппроксимировать полиномом второй степени:  $\theta(t) = 2\pi \times f_0 \times t + \pi \times (df/dt) \times t^2 + \varphi_0$ .

Решая систему уравнений МНК для последовательности дискретных значений фазы, получаем оценки:

- $f_0$  — текущая частота;
- $df/dt$  — скорость изменения частоты (ускорение скольжения).

Этот подход обладает высокой помехоустойчивостью, так как МНК сглаживает случайные погрешности, и позволяет отслеживать нелинейное изменение частоты, что характерно для релаксационных процессов в ЭЭС.

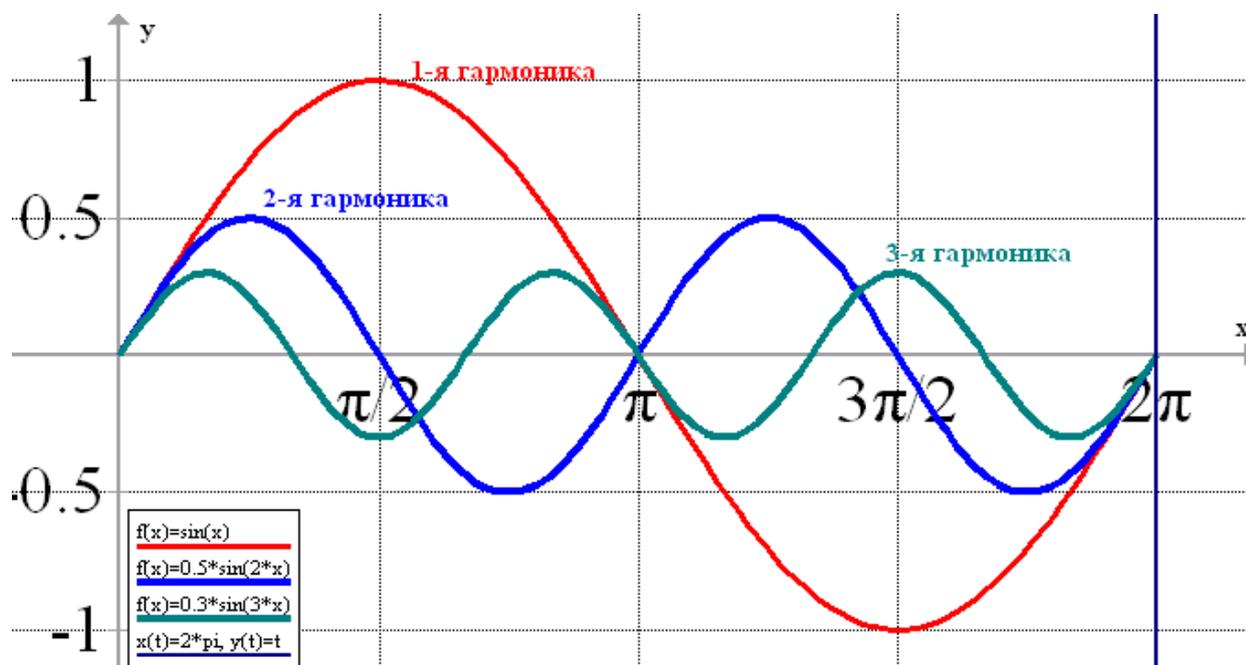


Рисунок 3 – Сходящий гармонический сигнал. Фундаментальная гармоника без искажений [13]

#### Моделирование и анализ результатов

Для верификации предлагаемого метода было проведено математическое моделирование в среде MATLAB/Simulink. Моделировалась схема включения генератора на шины бесконечной мощности через включенное АПВУС. Задавался переходный процесс с расхождением частот и их последующим сближением.

Условия моделирования:

- Номинальная частота: 50 Гц.
- Начальная разность частот: 0.5 Гц.
- Скорость сближения частот:  $\sim 0.1$  Гц/с.

- В модель введена помеха в виде 3-й гармоники (5 %) и белого шума.

Результаты:

1. Быстродействие: Предложенный метод выдал первую достоверную оценку разности частот менее чем за 10 мс, в то время как классический метод на основе ДПФ с окном в 20 мс потребовал не менее 30 мс для стабилизации показаний.

2. Точность: Погрешность измерения частоты предлагаемым методом в установившемся режиме не превышала  $\pm 0.01$  Гц, что существенно лучше, чем у метода перехода через ноль ( $\pm 0.05$  Гц).

3. Помехоустойчивость: Наличие гармоник и шума практически не повлияло на работу алгоритма, в то время как метод перехода через ноль демонстрировал значительные выбросы.

В рамках проведения испытаний в исходный сигнал фундаментальной частоты были введены максимально допустимые уровни высших гармонических составляющих. Результирующий содержал аддитивные компоненты: 3 % второй гармоники, 3.75 % третьей, 1.5 % четвертой и 9 % пятой. Экспериментальные данные продемонстрировали, что присутствие высших гармоник не приводит к возникновению дополнительной погрешности ни при определении мгновенной частоты, ни при выполнении её экстраполяции.

Анализ работы алгоритма при воздействии сигнала с линейной характеристикой изменения частоты  $\omega(t) = \omega_1 t + \omega_0$  подтвердил корректность функционирования системы прогнозирования. Алгоритм сохраняет работоспособность не только в стационарных режимах с постоянной частотой, но и в условиях её динамического изменения во временной области.

Синтез экспериментальных данных, полученных посредством математического моделирования, позволяет констатировать, что методика вычисления частотных характеристик на основе интерполяции полиномом Лагранжа в сочетании с модулем регрессионного анализа может быть успешно имплементирована в стандартные микропроцессорные терминалы релейной защиты для решения задач точного частотного прогнозирования. Перспективной областью применения является устранение системных аварий с задействованием устройств АПВ с синхронизацией, где дисбаланс мощности после отключения приводит к отклонениям частоты в изолированном фрагменте энергосистемы.

Важно отметить, что рассматриваемый алгоритм не предусматривает интерфейсов взаимодействия с комплексами автоматической частотной разгрузки. В связи с этим, при активации АЧР достоверность долгосрочных прогнозов на интервалах, превышающих время срабатывания разгрузки, может быть ограничена.

### *Библиографический список*

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенко, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2016. – С. 397-401.

11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.

12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.

13. Особенности автоматического повторного включения с контролем синхронизма // Сборник научных статей цифровая электроника: проблемы и достижения. Вып. 1. – [Б.м.], 2012. – С. 16-21.

14. Положительные стороны применения непосредственных преобразователей частоты в электроснабжении / А. В. Шемедюк, Н. Б. Нагаев, С. В. Никонов, М. А. Левин // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 217-223.

15. Ретроспективный анализ интенсификации технологического развития предприятий АПК / А. Ф. Дорофеев [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 106. – С. 7-16.

*Стрелков И.И., магистрант,  
Козеева Д.А., магистрант,  
Кострюков С.С., магистрант,  
Кунцевич А.А., к.с.-х.н.,  
Лузгин Н.Е., к.т.н.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ STRIP-TILL

Поддержанию и воспроизводству плодородия почвы способствуют различные технологии, к которым можно отнести различные системы обработки почвы. Системы обработки почвы – совокупность технологий механического воздействия на почву, позволяющие изменять ее свойства, тем самым закладывая фундамент под получение высоких и стабильных урожаев.

Различают классическую (традиционную или вспашку плугом), минимальную (мини-тилл), нулевую (ноу-тилл) и полосовую (стрип-тилл). Можно добавить еще комбинированную (смешанную) технологию.

Классическая – это вспашка плугом с оборотом пласта, предпосевная культивация, боронование, прикатывание, посев и послепосевное прикатывание. При отвальной (классической или традиционной) системе обработки почвы возникает риск потери гумуса, возникновения эрозии, образования подплужной подошвы. Но она незаменима для полей с тяжелыми почвами, расположенных на водоразделах.

При реализации технологии no-till происходит мульчирование поверхностного слоя почвы, сев осуществляется по стерне специальными сеялками и внесением в рядок различных видов удобрений. Рабочие органы стерневой сеялки равномерно распределяют растительные остатки и заделывают семена на установленную глубину. Наличие измельченных растительных остатков на поверхности поля предотвращает возникновение эрозии и защищает землю от чрезмерного высыхания и ветровой эрозии. Сохранение структуры почвы оставляет в неприкосновенности среду обитания дождевых червей, энтомофагов и микроорганизмов. Ноу-тилл технология особенно эффективна в засушливые годы.

Так как при применении технологии ноу-тилл непосредственно вспашка не используется, то возникает риск возникновения и расширения очагов болезней и вредителей, т.к. мульча – отличная среда для их развития. Расширяется видовой состав сорных растений, с нарастанием вегетативной массы. Все это ведет к увеличению внесения пестицидов практически вдвое, причем возникает необходимость применения гербицидов сплошного действия (глифосатов или глюфосинатов). До 15% и более увеличивается расход посевного материала [6].

Mini-till – это безотвальная технология обработки почвы на глубину до 25 см. В данном случае не происходит переворота почвенных слоев, пожнивные остатки сохраняются на поверхности поля, хотя их образуется значительно

меньше, чем при применении нулевой технологии. В почве оптимально поддерживается водно-воздушный режим, потери влаги уменьшаются, и для образования гумуса создаются идеальные условия.

Данная технология хорошо подходит для полей, подверженных ветровой эрозии [4].

При mini-till приходится измельчать и разбрасывать солому и прочие пожнивные остатки. Оставленная стерня может быть источником заражения различными бактериями, в т.ч. грибов из рода *Fusarium*. Для профилактики их распространения необходимо применять фунгициды (триазолы и т.п.). Альтернативный метод - обработка растительных остатков биоудобрениями, в которых есть полный комплекс почвенных микроорганизмов. Дополнительно можно обработать стерню аммиачной селитрой, гуматами или деструкторами.

Если хозяйство имеет значительное поголовье крупного рогатого скота, часто солома забирается, при этом мульчирующий слой получается тонким и полностью не выполняет функции «экрана». Положительный эффект от применения технологий нулевой и минимальной обработок сводится к нулю.

Технология Strip-Till предусматривает полосовое рыхление на 25 см, две трети поля остается в нетронутых междурядьях. При реализации этой технологии, в отличие от двух других, можно вносить различные удобрения на нужный горизонт почвенного слоя. Питательные вещества оказываются под семенами, благодаря чему довольно эффективно используются. Обработанный грунт прогревается быстрее. В нетронутых междурядьях сохраняются черви и микроорганизмы и система почвенных капилляров [4].

Полосную обработку можно отнести к ресурсосберегающей с применением элементов минимальной обработки. В ней сочетается преимущества традиционной обработки почвы с оборотом пласта с преимуществами минимальной обработки почвы в плане экологии, поскольку обрабатывается только та часть почвы, где будет располагаться ряд семян. Этот вид обработки почвы выполняется с помощью специального оборудования и может потребовать от фермера нескольких проходов в зависимости от используемого орудия для полосной обработки почвы и условий на поле. Ширина каждой полосы, обработанной полосовой вспашкой, обычно составляет от 20 до 25 сантиметров [1].

В сеялках прямого посева есть дисковый сошник, который предназначен для разрезания растительных остатков и твердой корки почвы. После того как сошник прорежет остатки и корку, дисковый сошник посадочного блока разрезает почву, семена попадают в бороздку, а прижимное колесо засыпает бороздку с семенами [5].

При полосной обработке почвы требуется реализация элементов технологии точного земледелия. В то же время при полосной обработке почвы можно вносить удобрения и химические средства защиты растений. Если дозатор химикатов или удобрений немного отклоняется от нормы, это может привести к неправильному внесению удобрений или химикатов. Это может привести к перерасходу удобрений и пестицидов.

Strip-till имеет общие моменты с технологиями нулевой и минимальной обработок, поскольку поверхность почвы защищена от внешних факторов растительной мульчей. Однако полосная обработка почвы оказывает такое же влияние на её свойства, как и классические (традиционные) системы обработки почвы, поскольку происходит разрушение почвенной корки, что позволяет аэробной микробиоте ускорять разложение органических остатков, переводя их в минеральные, которые сразу усваиваются растениями [5].

При применении технологии strip-till значительно улучшаются воздушный и тепловой режимы в почве, создаётся более благоприятная среда для посева, чем при нулевой обработке. Полосная обработка почвы позволяет лучше адаптировать питательные вещества в почве к потребностям растений, при этом сохраняя мульчирующий слой между рядами [9].

Система по-прежнему допускает некоторый контакт почвы с водой, который может привести к эрозии, однако степень эрозии на поле с полосной обработкой будет незначительной по сравнению со степенью водной эрозии на поле, где применялась вспашка. Кроме того, при внесении жидких удобрений их можно вносить непосредственно в те ряды, где высаживаются семена, что сокращает количество необходимых удобрений и повышает их доступность для корней растений. По сравнению с традиционной обработкой почвы технология strip-till позволяет значительно экономить топливо и другие ресурсы. Кроме того, уменьшается уплотнение почвы из-за меньшего количества проходов техники, сохраняется почвенная влага [8].

При данной технологии рекомендуется применять покровные культуры (смеси бобовых трав с фацелией, крестоцветные (горчица, редька масличная)), которые конкурируют с сорняками, способствуют улучшению структуры почвы, оптимизации воздушного и водного режимов, обогащению ее азотом. При достижении оптимальной высоты, покровную культуру прикатывают, при этом получается своеобразный барьер, препятствующий прорастанию сорняков, сохраняющий ЗПВ (запасы продуктивной влаги), но хорошо пропускающий воздух [10].

Естественно, подбор покровных культур осуществляется исходя из применяемого вида севооборота и основной культуры. Если биологическими способами победить сорные растения не получается, то необходимо применять гербициды (глифосат).

При минимальной обработке почвы борьба с сорняками может быть затруднена. Вместо культивации фермер может бороться с сорняками с помощью покровных культур, скашивания, прикатывания или гербицидов [3].

Для strip-till требуются более энергонасыщенные трактора, но суммарно затраты получаются ниже, чем при использовании классической (традиционной) обработки, но выше, чем при no-till (нулевой технологии), и сопоставимы с затратами на mini-till [9].

У технологии strip-till нет основных недостатков нулевой обработки, а именно долгого прогревания и подсыхания почвы весной и невозможности заделки удобрений. Кроме того, полосное рыхление крайне благоприятно влияет на развитие корневой системы (её объём увеличивается до 30% и более),

что делает более доступными для растений влагу и элементы питания. В результате чего, наблюдается рост урожайности сельскохозяйственных культур до 20% и более.

### *Библиографический список*

1. Виноградов, Д. Возделывание льна масличного сорта Санлин в южной части Нечерноземной зоны России / Д. Виноградов, Е. Лупова, А. Кунцевич // Главный агроном. – 2014. – № 10. – С. 16-18.

2. Известкование как основной фактор воспроизводства плодородия почвы / О. Н. Новикова, А. А. Кунцевич, Н. Е. Лузгин, А. А. Соколов // Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные проблемы и тенденции развития, Рязань, 28 февраля 2025 года. – Рязань: РГАТУ, 2025. – С. 169-174.

3. Кунцевич, А. А. К проблеме засоренности посевов льна масличного / А. А. Кунцевич // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных ресурсосберегающих технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Рязань, 16–17 февраля 2017 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2017. – С. 150-153.

4. Особенности применения минеральных удобрений при выращивании картофеля / Д. Р. Сафронова [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 309-313.

5. Перспективы выращивания льна масличного в центральном регионе Российской Федерации / А. В. Поляков, Д. В. Виноградов, А. А. Кунцевич, В. Н. Сельмен // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных и эфиромасличных культур: Материалы Международной научно-практической конференции, Рязань, 03–04 марта 2016 года. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 189-195.

6. Приёмы оздоровления почв / А. В. Ручкина [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 267-270.

7. Оценка сорта Санлин льна масличного в условиях Тульской и Рязанской областей / Д. В. Виноградов, А. В. Поляков, Н. С. Егорова, А. А. Кунцевич // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 3(27). – С. 5-9.

8. Сафронова, Д. Р. Виды деградации почв и борьба с ними / Д. Р. Сафронова, А. А. Кунцевич // Инновации в сельском хозяйстве и экологии : Материалы II Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 сентября 2023 года / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 339-343.

9. Тыщенко, А. В. Влияние ресурсосберегающих технологий на засоренность и продуктивность кукурузы / А. В. Тыщенко, А. А. Соколов, А. А.

Кунцевич // Инновации в сельском хозяйстве и экологии : Материалы II Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 сентября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 403-408.

10. Хромцев, Д. Ф. Возделывание масличных и эфиромасличных культур в Рязанской области / Д. Ф. Хромцев, А. А. Кунцевич // Инновационные технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства: Материалы Международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 65-летию со дня основания Рязанского государственного агротехнологического факультета имени П.А. Костычева, 20-летию кафедры "Технология производства, хранения и переработки продукции растениеводства" и 10-летию кафедры "Товароведения и экспертизы", Рязань, 30–31 января 2014 года. – Рязань: РГАТУ, 2014. – С. 352-353.

11. Экологическая оценка потенциальной радоноопасности / К. М. Павлова, М. А. Габибов, А. А. Кунцевич, С. А. Морозов // Инновации в сельском хозяйстве и экологии: Материалы II Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 сентября 2023 года / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 295-301.

### **Секция 3. Техническая эксплуатация транспорта и сельскохозяйственной техники**

**УДК 621. 431**

*Алтухов С.В., к.т.н., доцент,  
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,  
Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, РФ*  
*Шуханов С.Н., д.т.н., доцент,  
Голубев Д.Н., ст. преп.  
Иркутский государственный университет  
г. Иркутск, Иркутская область, РФ*

#### **ОПТИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Эффективное функционирование автотракторной техники во многом зависит от совершенства двигателя внутреннего сгорания как его основного источника энергии. Большинство тракторов сельскохозяйственного назначения оснащены дизельными силовыми агрегатами. Оптимальная работа дизелей тесно связана с качественными показателями функционирования всех их систем и механизмов. Помощь со стороны науки при решении проблем модернизации этих систем позволяет достичь прогресса в этом направлении. Одной из ключевых систем дизелей является система питания, составляющей элемент которой - распылители форсунок. Однако работа последних не отвечает возросшим к ним требованиям. Улучшение рабочих характеристик распылителей форсунок достигается посредством изучения путей их модернизации. С целью исследования состояния вопроса взаимосвязи значения температуры распылителей форсунок дизельных агрегатов автотракторной техники с эффективностью их работы осуществлен обзор источников литературы. Установлено, что современные дизели оснащены камерами сгорания широкого спектра конструкторских решений, а также способов смесеобразования. А именно, однокамерные с непосредственным впрыском горючего и дизели с разделенной камерой сгорания. Модернизация такого типа двигателей внутреннего сгорания посредством перевода их на непосредственный впрыск топлива ведет, а также унификацией конструкций распылителей форсунок ведет к сокращению эксплуатационных издержек. Дан анализ полученных результатов обзора информации, что позволило создать основу дальнейших исследований распылителей форсунок дизелей для повышения эффективности их функционирования. Установлено, что при унификации штифтовых, в том числе многоструйных распылителей применительно к вихрекамерным дизельным двигателям необходимы дополнительные исследования экспериментальных распылителей с учетом давления впрыскивания топлива и их особенностей конструкции.

Конкурентно способное функционирование современного сельского хозяйства во многом обеспечивается с помощью инновационных машин и технологий. Разработка которых осуществляется передовыми учеными и конструкторами реализующих перспективные проекты в этой области научно-технических исследований [5,8,10-13;21,22].

Особое внимание со стороны ученых уделяется поиску новых решений по улучшению функционирования силовых агрегатов автотракторной техники как ключевому источнику энергии этих машин, частности, дизелей [7,14,23,24].

Эффективность силовых агрегатов коррелирует с оптимальным функционированием всех их систем. Результаты исследований, посвященные этим вопросам, позволяют улучшить работу, в том числе систем питания дизелей.

Цель работы. Исследование состояния вопроса взаимосвязи значения температуры распылителей форсунок дизельных силовых агрегатов автотракторной техники с эффективностью их работы.

Материалы и методы. Выполнен обзор литературных источников по изучаемой теме. Осуществлен анализ полученного материала с формированием основы для дальнейших исследований распылителей форсунок дизелей для повышения эффективности их функционирования.

Результаты исследования. В настоящее время в дизельных силовых агрегатах используются камеры сгорания широкого спектра конструкторских решений, а также способов смесеобразования. Однокамерные дизельные двигатели, оснащенные системой непосредственного впрыскивания горючего, нашли большее применение. Причина этого явления кроется в том, что такие силовые агрегаты характеризуются лучшими показателями как по экономичности, так и пусковым качествам, а также компактности камеры сгорания.

Положительные стороны дизелей, имеющих разделенные камеры сгорания, включают в себя меньший уровень токсичности выпускных газов, в том числе шумности, кроме того, более низкую степень требовательности к качеству распыливания, а также впрыскивания горючего.

К отрицательным сторонам этого типа двигателей относятся большой показатель по расходу топлива, включая конструкцию повышенной сложности.

Совершенствование дизелей такого типа, позволяющих сократить эксплуатационные издержки при функционировании, достигается переводом их на непосредственный впрыск горючего, а также унификацией конструкций распылителей форсунок.

Работоспособность дизельного силового агрегата находится во взаимной связи с его конструктивными особенностями, в том числе устройством топливной аппаратуры, а также уровня температурного состояния используемых распылителей форсунок. Согласно результатам исследований, полученных учеными значение приемлемой температуры распылителей варьирует в широком диапазоне: от 140 до 270<sup>0</sup> С [1-4;6].

Установлено, что как показатель термостабильности горючего безопасное значение температуры распылителя тождественно 190<sup>0</sup> С [1].

Файнлейб Б.Н. в своих исследованиях определил, что процесс интенсификации коксования исключается при значении температуры распылителя в пределах от 180 до 210<sup>0</sup> С [1].

Также установлено, что рекомендуемое оптимальное значение температуры наконечника распылителя применительно к автотракторным дизельным силовым агрегатам тождественна 170 – 200<sup>0</sup> С [1].

В результате комплексных исследований, проведенных в работе [20] авторы пришли к выводу, что значение температуры наконечника распылителя не должна превышать 180-210<sup>0</sup> С, в том числе температура опорной поверхности гайки распылителя должны быть менее, чем 130 – 140<sup>0</sup> С, тогда как критическая температура гайки тождественна 175<sup>0</sup> С.

Также авторы установили, что значение температуры распылителя не следует рассматривать как единственный критерий склонности горючего к образованию отложений. При изучении состояния распылителей важно также принимать во внимание особенности их конструкции, включая место размещения термодпар, в том числе величину расхода топлива через форсунку, а также другие аспекты. В приведенной таблице отражены данные, полученные путем термометрирования форсунок дизельных силовых агрегатов автотракторной техники.

Таблица 1 – Предельные условия по температурным показателям функционирования распылителей автотракторных дизелей, оснащенных медными прокладками газового стыка форсунок

Марка дизеля	Значение температуры, <sup>0</sup> С		Расход топлива форсункой, кг/ч
	наконечник распылителя	гайка распылителя	
Д-144	205-235	165-185	2,75
Д-65Н	214-232	114-132	3,4
Д-240	210-218	160-175	3,6
Д-260Т	230-244	180-195	4,3
СМД-62	216-245	178-186	5,25
КАМАЗ-740	166-180	110-125	5,05
КАМАЗ-7403	205-220	130-140	5,75
КАМАЗ-7404	208-225	135-145	6,45
ДТТ-330	206-213	210-240	7,4
Д-200	224-245	168-178	7,7

Анализ данных таблицы демонстрирует, что большая часть используемых дизельных силовых агрегатов функционируют в предельно напряженных температурных средах, в том числе значения их реальных температур нередко превышают рекомендуемые оптимальные величины.

Значения температур распылителей форсунок дизельных силовых агрегатов СМД, оборудованных вихрекамерным смесеобразованием порядка на 20-30 % меньше по сравнению с дизелями, оснащенными непосредственным впрыскиванием топлива и тождественны 180-188<sup>0</sup> С [9].

Значение температуры распылителей коррелирует с температурными, а регулировочными параметрами, включая атмосферные условия [16]. В результате осуществленных исследований А.Т. Максимовым выявлено, что отклонение регулировочных показателей топливной аппаратуры от нормальных значений сопровождается значительным изменением показателей, в том числе характера протекания рабочего цикла, включая температуру распылителя. К тому же превышение значения температуры распылителя до 15 % относительно ее значения при нормальных регулировках [18].

В.Н. Белоусов в своей работе выявил, что увеличение значения температуры топлива в корпусе насоса на  $35^{\circ}\text{C}$  является причиной роста температуры распылителя на  $13\text{-}15^{\circ}\text{C}$ . Также понижение значения температуры воздуха от плюс  $20$  до минус  $38^{\circ}\text{C}$  ведет к уменьшению температуры наконечника распылителя дизельного силового агрегата модели Д-37М с  $243$  до  $223^{\circ}\text{C}$  [6].

Для достижения реального снижения температурного уровня распылителей предусматривается комплекс действий, состоящих в выборе конструктивных, а также регулировочных параметров топливной аппаратуры, включая повышение параметров топливоподачи, что важно именно в ее заключительной части и т.д.

При реализации умеренного форсирования дизеля допустимый уровень значения температуры достигается: уменьшением поверхности распылителя, входящими в соприкосновение с горячими газами; с помощью использования теплоизолирующих шайб между опорными поверхностями форсунки и головки цилиндров; посредством более лучшего отбора теплоты от форсунки повышенным охлаждением головки цилиндров, включая большую эффективность отвода теплоты в топливо, протекающего через форсунку.

Теплота преимущественно подводится со стороны камеры сгорания, тогда как отводится в протекающее через него топливо [18]. В корреляции с интенсивностью охлаждения узла установки форсунки водой тепловой поток направляется от головки цилиндров к форсунке или же в обратном направлении.

Вариант первый предусматривает использование теплоизолирующей шайбы между форсункой и стаканом головки цилиндров для снижения температуры распылителя. Вариант второй, при котором узел установки форсунки охлаждается существенно интенсивнее, предполагает применение теплоизолирующей медной шайбы.

В ряде случаев с помощью размещения теплоизолирующей шайбы достигается уменьшение значения температуры распылителя в пределах от  $25$  до  $30^{\circ}\text{C}$  [15].

За счет использования теплоизолирующей комбинированной сталефторопластовой шайбы обеспечивается снижение значения температуры наконечника распылителя дизельных двигателей модели Д-200 с  $222$  до  $216^{\circ}\text{C}$ , включая Д-144 с  $260$  до  $250^{\circ}\text{C}$ , в том числе Д-260 Т с  $244$  до  $238^{\circ}\text{C}$ . В этом варианте значение температуры гайки снижается порядка от  $60$  до  $80^{\circ}\text{C}$  [20].

Посредством улучшения процесса охлаждения узла установки форсунки при расширении потоков для воды, введения «пистолетов» для направления охлаждающей воды на стакан форсунки, в том числе цековки перемычек между клапанами в месте выхода форсунки обеспечивается снижение значения температурного показателя наконечника распылителя в диапазоне от 50 до 60<sup>0</sup> С [17].

Монтирование защитного экрана дает возможность снизить площадь распылителя, непосредственно контактирующую с горячими газами, а также уменьшить температуру доньшка штифтового распылителя тракторного дизельного двигателя [19].

Хорошую эффективность в плане уменьшения значения температуры распылителя обеспечивает нанесение теплоизолирующих, в том числе теплопроводящих покрытий на боковую поверхность распылителя [19]. Этот способ позволяет снизить температуру порядка 34 %, а скорость коксования от 4 до 5 раз.

Выводы. Таким образом, осуществленный обзор и анализ вопроса температурного режима распылителей форсунок демонстрирует, что этой теме уделено не мало внимания со стороны ученых. В то же время, при унификации штифтовых, в том числе многоструйных распылителей применительно к вихрекамерным дизельным двигателям необходимы дополнительные исследования экспериментальных распылителей с учетом давления впрыскивания топлива и их особенностей конструкции.

### *Библиографический список*

1. Алтухов, С. В. Обеспечение работоспособности многоструйных распылителей форсунки в дизелях с вихрекамерным смесеобразованием : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алтухов Сергей Вячеславович. – Санкт-Петербург ; Пушкин, 1992. – 18 с.

2. Алтухов, С.В. Исследование теплообмена корпуса распылителя форсунки с топливом / С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов // Вестник ИрГСХА. - 2017. - № 80. - С. 54-61.

3. Алтухов, С.В. Анализ гидродинамических характеристик распылителей форсунок ДВС / С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов // Тракторы и сельхозмашины. - 2018. - № 3. - С. 3-6.

4. Алтухов, С.В. Анализ теплового состояния распылителей форсунок / С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов // Аграрная наука. - 2018. - № 5. - С. 56-57.

5. Алтухов, С.В. Анализ обеспеченности техникой сельскохозяйственных организаций Иркутской области / С.В. Алтухов, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов // Известия Международной академии аграрного образования. - 2022. - № 62. - С. 5-8.

6. Белоусов, В.Н. Исследование работоспособности топливоподающей аппаратуры двигателей воздушного охлаждения при эксплуатации тракторов в

условиях низких температур окружающего воздуха : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.Н. Белоусов. – Л.-П.: 1977. – 18с.

7. Диагностика двигателя внутреннего сгорания при помощи диагностического тестера / А.Ю. Богданчикова, И.Ю. Богданчиков, Т.М. Богданчикова, И.В. Серявин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - 2015. - № 1. - С. 239-244.

8. Оценка топливопотребления двигателей при ультразвуковой обработке топлива / Р.В. Пуков и др. // Техника и оборудование для села. - 2017. - № 11. - С. 12-17.

9. Диков, В.А. Исследование температуры распылителей быстроходных дизелей / В.А. Диков, И.Д. Васильченко, Н.П. Киселев // НИИИНФОРМТЯЖМАШ. – 1980, 4-80-20. – С. 6-8.

10. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова, С.А. Петрова // Прикладная информатика. 2021. - Т. 16. - № 6 (96). - С. 131-143.

11. Оптимизация производства сельскохозяйственной продукции при сочетании орошаемых и неорошаемых земель / Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева, Ю.М. Краковский, С.А. Петрова // Достижения науки и техники АПК. - 2024. - Т. 38. - № 5. - С. 48-54.

12. Калашников, С.С. Оптимальное давление в шинах ходовых систем колесных тракторов / С.С. Калашников, А.С. Пехутов, М.Б. Балданов // Устойчивое развитие сельских территорий и аграрного производства на современном этапе : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки. Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова. Улан-Удэ, - 2022. - С. 403-408.

13. Коваливнич, В.Д. Обзор и анализ материалов кузовов автомобилей / В.Д. Коваливнич, А.И. Аносова, Д.Н. Голубев // Научный журнал молодых ученых. 2024. - № 1 (36). - С. 24-28.

14. Кокиева, Г.Е. Исследование влияния износа сопряжений регулятора частоты вращения коленчатого вала на его работоспособность / Г.Е. Кокиева, С.А. Войнаш // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 4. С. 41-46.

15. Кокорев, Ю.А. Универсальный метод ускоренных испытаний и оценка работоспособности распылителей форсунок дизелей в связи с закоксовыванием : автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Ю.А. Кокорев. – Калинин, 1989. -16 с.

16. Обоснование рациональной скорости тракторного агрегата на транспортных агрегатах / Д.Н. Раднаев и др. // Сельский механизатор. - 2023. - № 12. - С. 12-13.

17. Шуханов, С.Н. Модернизация аппарата для измельчения корнеклубнеплодов / С.Н. Шуханов, А.С. Доржиев // Тракторы и сельхозмашины. - 2021. - Т. 88. - № 2. - С. 68-72.

18. Юсупов, Ш.Т. Влияние неравномерности подачи топлива на эффективные показатели дизеля / Ш.Т. Юсупов, О.М. Осмонов, М.Б. Балданов // Ларионовские чтения – 2022 : сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции. - 2022.- С. 121-125.

19. Корреляция продолжительности прогрева двигателя со значением температуры воздуха / С.С. Ямпиллов и др. // Наука в центральной России. - 2025. - № 1 (73). - С. 64-72.

20. Метод ускоренного диагностирования форсунок на коксование / А. А. Карташов, А. В. Лахно, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 176. – С. 85-95.

21. Исследование топографии температурного поля облака генератора горячего тумана / М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина, В. С. Мельников [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 3(27). – С. 65-69.

22. Белоусов, Н. И. Классификация и виды изнашивания коленчатых валов автомобиля КАМАЗ-740 / Н. И. Белоусов, В. А. Кончин // Современное перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 11 октября 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 53-57.

23. Биодизель как альтернатива минеральному дизельному топливу / Ю. Н. Рыжов, В. Е. Семенов, А. В. Трудко, Н. Е. Лузгин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 1(17). – С. 73-77.

**УДК 330.123.72**

*Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Семина Е.С., к.т.н.,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГТУ, г. Рязань, РФ*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТА БУДУЩЕГО**

Настоящая исследовательская статья посвящена анализу перспектив биологического топлива как ключевого компонента транспортного сектора будущего. Исследование охватывает современные технологии производства биотоплива различных поколений, оценивает их экологические и экономические преимущества, выявляет существующие барьеры для широкого внедрения и предлагает направления для дальнейших исследований. Особое внимание уделяется анализу потенциала биодизеля, биоэтанола, целлюлозных биотоплив и биотоплива из водорослей, а также вопросам конкуренции с

продовольственными культурами, масштабирования производств и необходимости инфраструктурных изменений.

Ключевые слова: биотопливо, транспорт будущего, биодизель, биоэтанол, целлюлозные биотоплива, биотопливо из водорослей, возобновляемые источники энергии, сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, устойчивое развитие.

Актуальность проблемы и постановка целей исследования.

В условиях растущего мирового спроса на энергию, обострения проблемы изменения климата и ограниченности ископаемых видов топлива, поиск устойчивых и экологически чистых альтернатив для транспортного сектора становится критически важным. Транспорт является одним из основных потребителей ископаемого топлива и, как следствие, значительным источником выбросов парниковых газов, в первую очередь углекислого газа (CO<sub>2</sub>), что способствует глобальному потеплению. Переход на низкоуглеродные виды топлива является одним из ключевых направлений достижения целей Парижского соглашения и обеспечения долгосрочной устойчивости энергетической системы.

Биологическое топливо, получаемое из биомассы, обладает значительным потенциалом для снижения зависимости от ископаемого топлива, сокращения выбросов парниковых газов и стимулирования развития новых отраслей экономики. Однако, несмотря на многолетние исследования и первые успехи, широкое внедрение биотоплива в качестве основного источника энергии для транспорта сталкивается с рядом вызовов [1,2,3].

Целью настоящего исследования является комплексный анализ текущего состояния технологий производства биотоплива, оценка их экологических преимуществ и экономических перспектив, выявление потенциальных барьеров для их внедрения и предложение направлений для дальнейших исследований, способствующих реализации потенциала биотоплива для транспорта будущего.

Краткий исторический экскурс развития биотопливных технологий.

Использование биологических источников энергии для транспорта имеет давнюю историю. Уже в конце XIX века такие пионеры, как Рудольф Дизель, экспериментировали с двигателями, работающими на растительных маслах. Генри Форд также рассматривал биоэтанол как потенциальное топливо для своих автомобилей. Однако появление и доминирование дешевой нефти отодвинули развитие биотопливных технологий на второй план на долгие десятилетия.

Возобновление интереса к биотопливу началось в 1970-х годах в период нефтяных кризисов, когда возникла необходимость диверсификации источников энергии. В этот период были предприняты первые серьезные шаги по разработке и коммерциализации технологий производства биоэтанола из зерновых культур и биодизеля из растительных масел.

В последние десятилетия, с усилением обеспокоенности по поводу изменения климата и истощения ископаемых ресурсов, исследования и разработки в области биотоплива активизировались. Были достигнуты значительные успехи в оптимизации процессов производства, расширении сырьевой базы и повышении эффективности. Сегодня биотопливо занимает

определенную нишу на рынке транспортного топлива, но его роль потенциально может быть значительно расширена [4,5,6].

Современные технологии производства биотоплива

Технологии производства биотоплива можно условно разделить на несколько поколений, каждое из которых характеризуется своим типом сырья и уровнем технологической зрелости.

Первое поколение (биодизель, биоэтанол):

Это наиболее зрелые и широко распространенные технологии.

- **Биоэтанол:** Производится путем ферментации сахаров, содержащихся в таких культурах, как кукуруза, пшеница, сахарный тростник и свекла. Полученный этанол может смешиваться с бензином (например, E10, E85) или использоваться в чистом виде в специально адаптированных двигателях.

- **Примеры:** В Бразилии биоэтанол из сахарного тростника составляет значительную долю рынка моторного топлива, а в США основное сырье – кукуруза.

- **Биодизель:** Производится путем переэтерификации растительных масел (рапсовое, соевое, пальмовое) или животных жиров. Биодизель может использоваться в чистом виде (B100) или в смесях с дизельным топливом (B5, B20).

- **Примеры:** Производство биодизеля из рапсового масла широко распространено в Европе, а из соевого масла – в Аргентине и США.

Второе поколение (целлюлозные биотоплива):

Эти технологии направлены на использование непищевой биомассы, такой как сельскохозяйственные отходы (солома, стебли), древесные отходы, травы и специальные энергетические культуры. Основной вызов здесь – эффективное расщепление целлюлозы и гемицеллюлозы на простые сахара, которые затем могут быть ферментированы.

- **Процессы:** Включают физические, химические и биологические методы предобработки для разрушения клеточных стенок, после чего происходит ферментация и дистилляция.

- **Примеры:** Исследования и пилотные проекты по производству целлюлозного этанола активно ведутся такими компаниями, как DuPont (ранее BP) и Clariant. Успешные коммерческие установки, хотя и немногочисленные, уже функционируют.

Третье поколение (биотопливо из водорослей):

Водоросли рассматриваются как перспективное сырье для производства биотоплива благодаря их высокой скорости роста, способности к фотосинтезу и возможности выращивания на несельскохозяйственных землях. Водоросли могут накапливать значительные объемы липидов, которые затем могут быть преобразованы в биодизель, или могут быть ферментированы для получения этанола.

- **Преимущества:** Потенциально более высокая урожайность по сравнению с наземными культурами, возможность использования сточных вод для питания, отсутствие конкуренции с продовольственными культурами.

- Примеры: Исследовательские проекты и небольшие пилотные установки существуют по всему миру. Некоторые компании, такие как ExxonMobil и Synthetic Genomics, инвестируют в развитие этих технологий. Однако коммерциализация в промышленных масштабах остается на ранней стадии [7,8,9].

Экологические и экономические преимущества

Сокращение выбросов CO<sub>2</sub>:

Одним из ключевых экологических преимуществ биотоплива является потенциальное сокращение выбросов парниковых газов. При сгорании биотоплива выделяется CO<sub>2</sub>, но поскольку растения, из которых оно производится, поглощают CO<sub>2</sub> из атмосферы в процессе фотосинтеза, цикл считается более замкнутым по сравнению с ископаемым топливом.

- Оценка: Жизненный цикл биотоплива (от выращивания сырья до его использования) может приводить к сокращению выбросов CO<sub>2</sub> на 50-90 % по сравнению с бензином и дизельным топливом, в зависимости от типа сырья, технологии производства и практики землепользования. Например, биоэтанол из сахарного тростника демонстрирует высокие показатели сокращения выбросов.

- Важно отметить:

- Технологические издержки: Производство биотоплива, особенно второго и третьего поколений, требует значительных капитальных вложений в строительство заводов и разработку сложных технологических процессов.

- Поддержка государства: Субсидии, налоговые льготы и обязательные квоты на использование биотоплива играют существенную роль в повышении его конкурентоспособности.

- Масштаб производства: Увеличение объемов производства, как правило, приводит к снижению удельных издержек.

- Текущая ситуация: Биоэтанол и биодизель первого поколения в настоящее время часто дороже традиционных видов топлива без учета государственной поддержки. Биотопливо второго и третьего поколений пока еще находится на стадии разработки и оптимизации, что делает его более дорогим, но с высоким потенциалом снижения стоимости в будущем.

Проблемы и препятствия

Конкуренция с продовольственными культурами:

Производство биотоплива первого поколения, основанного на пищевых культурах (кукуруза, сахарный тростник, рапс), вызывает беспокойство по поводу его влияния на продовольственную безопасность и цены на продукты питания.

- Проблема: Использование плодородных земель для выращивания энергетических культур может приводить к сокращению площадей для производства продовольствия, повышению цен на продукты питания и, в некоторых случаях, к нежелательному изменению землепользования.

- Решение: Развитие технологий второго и третьего поколений, использующих непригодную для пищевых культур биомассу, является ключевым для преодоления этой проблемы.

Сложности масштабирования производств:

Переход от лабораторных или пилотных установок к полномасштабному промышленному производству биотоплива часто сопряжен с техническими и экономическими трудностями.

- Технические проблемы: Сложность обработки больших объемов биомассы, оптимизация ферментационных процессов, эффективное извлечение продукта.

- Экономические проблемы: Высокие капитальные затраты на строительство заводов, неопределенность рыночных условий, необходимость стабильного доступа к сырью.

- Пример: Некоторые проекты по производству целлюлозного этанола сталкивались с проблемами масштабирования, что приводило к задержкам или пересмотру бизнес-моделей.

Необходимость инфраструктурных изменений:

Широкое внедрение биотоплива требует адаптации существующей инфраструктуры.

- Двигатели: во многих транспортах и машинах будет необходимо земна двигателя, так как может не подойти для биотоплива.

- Смешивание и хранение: необходимо оборудование для смешивания биотоплива с традиционными видами топлива, а также соответствующие стандарты для хранения и транспортировки.

- Заправочные станции: потребуются модификация или строительство новых заправочных станций, способных работать с различными смесями биотоплива.

Роль государства и бизнеса в развитии отрасли:

- Государственная политика:

- Финансовая поддержка: Субсидии, налоговые льготы, гранты на исследования и разработки.

- Регуляторные меры: Установление обязательных квот на использование биотоплива, стандартизация, создание благоприятной нормативно-правовой базы.

- Инвестиции в инфраструктуру: Поддержка строительства новых заводов, разработка стандартов.

- Международное сотрудничество: Гармонизация стандартов, обмен технологиями.

- Роль бизнеса:

- Инвестиции в R&D: Финансирование исследований и разработок для снижения себестоимости и повышения эффективности.

- Коммерциализация технологий: Внедрение новых технологий в промышленное производство.

- Партнерство: Сотрудничество между сельхозпроизводителями, технологическими компаниями и нефтеперерабатывающими заводами.

- Разработка новых бизнес-моделей: Создание устойчивых цепочек поставок сырья и продуктов.

Прогноз: В ближайшие десятилетия биотопливо, вероятно, продолжит играть растущую роль в транспортном секторе, особенно в качестве компонента смесей с традиционными видами топлива. Биотопливо второго и третьего поколений имеет высокий потенциал для замещения ископаемого топлива, но для его широкого внедрения потребуются значительные технологические прорывы и государственная поддержка. Водородные и электрические технологии также будут конкурировать с биотопливом, но биотопливо может остаться важным решением для определенных сегментов транспорта (например, авиация, тяжелый грузовой транспорт) и в тех регионах, где доступно соответствующее сырье [9,10,11].

Настоящая статья продемонстрировала, что биотопливо обладает значительным потенциалом для трансформации транспортного сектора, предлагая экологически более чистые и возобновляемые альтернативы ископаемому топливу. Технологии первого поколения (биоэтанол и биодизель) уже широко применяются, демонстрируя преимущества в сокращении выбросов CO<sub>2</sub> и использовании возобновляемых ресурсов. Однако их развитие сталкивается с вызовами, связанными с конкуренцией с продовольственными культурами. Биотопливо второго и третьего поколений, основанное на непищевой биомассе (целлюлоза) и водорослях, предлагает решения для преодоления этих ограничений и обладает более высоким потенциалом устойчивого развития. Тем не менее, эти технологии находятся на более ранних стадиях развития, сталкиваются с серьезными технологическими и экономическими барьерами для масштабирования, а также требуют значительных инфраструктурных изменений [12].

### *Библиографический список*

1. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4 кв и мероприятия по их снижению / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 2(11). – С. 140-143.

2. Анализ ламп применяемых для переменного оптического облучения рассады овощных культур в теплицах / А. С. Морозов [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 305-310.

3. Направления повышения энергоэффективности освещения и облучения в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 295-302.

4. Сравнение полупроводниковых приборов применяемых в преобразователях электрической энергии систем электроснабжения / И. И. Гришин, Е. С. Семина, А. С. Морозов, М. Бахрамзод // Вестник Совета молодых

ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – № 1. – С. 232-235.

5. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

6. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

7. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

8. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

9. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

10. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

11. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

12. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое

обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

13. Положенцев, В. П. Экоадаптивные агротехнологии как фактор интенсификации растениеводства / В. П. Положенцев, О. В. Черкасов, А. С. Ступин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 4(28). – С. 22-28.

14. Аникин, Н. В. Перспектива применения газобаллонной автотракторной техники в агропромышленном комплексе Российской Федерации / Н. В. Аникин, Н. В. Дмитриев, К. А. Дорофеева // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной науч.-практ. конф., Рязань, 23 мая 2019 года. Том Часть III. – Рязань: РГАТУ, 2019. – С. 38-42.

15. Сазонкин, К. Д. Экологическая устойчивость и рациональное землепользование / К. Д. Сазонкин, Д. В. Виноградов // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения. – Нальчик, 2023. – С. 134-136.

16. Туркин, В. Н. К вопросу о переходе к новой общественно-экономической формации / В.Н. Туркин, В. П. Солодков // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : материалы II-ой Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти д.т.наук, профессора Н.В. Бышова. – Рязань: РГАТУ, 2022. - С. 484-489.

17. Анализ способов применения биологических видов топлива в дизельных двигателях / С. Н. Борычев, А. В. Шемякин, В. В. Терентьев, А. А. Иванов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. – № 3(35). – С. 84-88.

18. Глотов, А. Д. Электромобили и их влияние на экологию / А. Д. Глотов, Т. В. Ерофеева, Г. Н. Фадькин // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, 26 декабря 2023 года , Рязань, 26 декабря 2023 года. – Рязань : РГАТУ, 2023. – С. 297-298.

19. Пикушина, М.Ю. Показатели активности инновационной деятельности в автотранспортном предприятии / М.Ю. Пикушина, Н.А. Гудкова // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник V национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. – Новосибирск: ИЦ Новосибирского ГАУ "Золотой колос", 2022. – С. 725-729.

20. Кончин, В. А. Меры государственной поддержки АПК Курской области в отрасли растениеводства в 2024 году / В. А. Кончин // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Курск, 10 октября 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 75-78.

21. Биодизель как альтернатива минеральному дизельному топливу / Ю. Н. Рыжов, В. Е. Семенов, А. В. Трудко, Н. Е. Лузгин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 1(17). – С. 73-77.

## **МЕТОДЫ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ И ТРАНСМИССИЙ СЕЛЬХОЗМАШИН**

Эффективность современного сельскохозяйственного производства напрямую зависит от надежности используемой техники. Сегодня большая часть работ выполняется специализированными машинами, оснащенными мощными двигателями и сложными системами трансмиссии. От исправности этих ключевых элементов зависят сроки завершения полевых работ, урожайность и экономические показатели предприятия. Поэтому повышение ресурса силовых установок и трансмиссий является актуальной задачей, направленной на минимизацию издержек и увеличение прибыли.

Продолжительность эффективной эксплуатации двигателей и трансмиссий определяет ряд факторов, среди которых выделяются качество используемых материалов, правильный выбор режимов работы, регулярное проведение профилактических мероприятий и применение специальных составов и добавок. Научно-техническое развитие привело к появлению эффективных методик, направленных на поддержание работоспособности техники даже в сложных климатических и почвенных условиях.

Настоящая статья рассматривает наиболее перспективные способы продления ресурса двигателей и трансмиссий, применяемых в сельском хозяйстве, включая меры по профилактике отказов, применению новых материалов и внедрению прогрессивных методов обслуживания.

Причинами повышенного износа важнейших частей сельскохозяйственной техники являются внешние воздействия и особенности эксплуатации. Важно учитывать воздействие множества негативных факторов, чтобы предотвратить преждевременный выход из строя главных компонентов техники.

Факторы износа цилиндрико-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма

Одним из важных аспектов работы двигателя является функционирование цилиндрико-поршневой группы (ЦПГ). Здесь возникают значительные силы трения, высокие температуры и давление газов, способствующие быстрому износу подвижных элементов. Главные факторы, влияющие на износ:

Качество моторного масла: низкосортные продукты быстро теряют вязкость и защитные свойства, ухудшая смазывание трущихся поверхностей.

Несоответствие октанового числа топлива требованиям производителя техники.

Загрязнения воздуха и топлива, поступающих в двигатель, вызывая абразивный износ стенок цилиндра и клапанных пар.

Неправильная настройка угла опережения зажигания, ведущее к детонационным процессам и перегреву деталей.

Агрессивные условия окружающей среды, высокая влажность, солевые примеси и температурные колебания, оказывающие негативное воздействие на металлы.

Проблемы механической коробки передач

Механическая коробка передач (КПП) представляет собой узел повышенной ответственности, поскольку обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя к ведущим осям машины. Среди проблем, существенно сокращающих ресурс КПП, выделяют:

Некачественное масло и отсутствие регулярного его обновления приводят к накоплению продуктов износа и ухудшению теплоотдачи.

Недостаточная герметичность корпусов вызывает потерю рабочей жидкости и попадание загрязнений извне.

Повреждения шестерёнок и валов вследствие высоких динамических нагрузок и некорректного включения передач увеличивают вероятность выхода узла из строя.

Потеря эластичности синхронизирующих устройств снижает плавность перехода между ступенями и ускоряет износ зубьев.

Ослабленные крепления крепёжных болтов ведут к возникновению вибраций и усталостных повреждений металла.

Таким образом, основными факторами износа двигателей и трансмиссий являются неблагоприятные климатические условия, неправильная эксплуатация, недостаточное внимание к техническому обслуживанию и использование неподходящих расходных материалов. Устраняя или смягчая указанные негативные явления, можно заметно продлить жизнь важнейшим элементам сельскохозяйственной техники. Продлить ресурс двигателя возможно посредством соблюдения ряда рекомендаций и применения современных техник восстановления и профилактики износа.

Регулярный мониторинг показателей топлива позволяет избежать критичных отклонений в работе двигателя. Контроль уровня загрязнения топлива помогает выявить наличие примесей воды, сернистых соединений и пыли, негативно воздействующих на рабочие элементы мотора. Для этого используются специальные экспресс-тестеры и лабораторные анализы, определяющие химический состав топлива и масла.

Кроме того, важно проверять систему подачи топлива на предмет засоренности фильтра тонкой очистки, работоспособность форсунок и состояние насосов высокого давления. Полноценная проверка проводится ежегодно, особенно перед началом сезона активных полевых работ.

Замену фильтров рекомендуется проводить согласно регламенту производителя техники. Масляные фильтры задерживают металлические частицы, образующиеся в результате естественного износа, предотвращают образование задиров и коррозии внутри блока цилиндров. Топливные фильтры защищают от попадания твердых частиц, загрязняющих форсунки и камеры сгорания.

Замена моторного масла должна осуществляться регулярно, не реже одного раза в сезон интенсивных работ. Необходимо выбирать качественные сорта масел, соответствующие условиям эксплуатации техники и рекомендациям завода-изготовителя.

Диагностика форсунок и насоса высокого давления необходима для предотвращения сбоев в подаче топлива и формирования правильной смеси горючего и воздуха. Современные приборы позволяют оперативно определить неисправности форсунок и провести необходимую настройку.

Для оценки работы топливной аппаратуры используют стендовую диагностику с использованием специального оборудования, обеспечивающую точное измерение параметров впрыска топлива, проверку геометрии распылителей и оценку равномерности подачи топлива.

Восстановление изношенных поверхностей деталей методом напыления и плазменного нанесения покрытий

Современные методы восстановительного ремонта включают нанесение защитных покрытий на внутренние стенки цилиндров, кольца поршней и штоки клапанов. Используются покрытия на основе нитридов титана, хрома и молибдена, обладающие высокими антифрикционными свойствами и устойчивостью к коррозии.

Также применяются методы поверхностного легирования, лазерной закалки и индукционного нагрева, повышающие твердость материала и продлевающие срок службы отдельных деталей.

Проблемы трансмиссии также требуют внимания, поскольку нарушения в её функционировании могут привести к значительным финансовым потерям и снижению продуктивности работы техники.

Своевременная замена уплотнительных элементов предотвращает потери трансмиссионного масла и проникновение влаги и грязи внутрь механизма. Следует контролировать состояние манжет, прокладок и маслоъемных колпачков, заменяя их по мере необходимости.

Использовать лучше всего оригинальные комплектующие или высококачественные аналоги известных производителей, рекомендованных заводом-изготовителем техники.

Периодическое тестирование и калибровка электронных блоков управления сцеплением и переключением передач

Электронные блоки управления обеспечивают автоматизацию процесса переключения передач и оптимального распределения мощности. Регулярные проверки функционирования датчиков скорости вращения колёс, положения педали акселератора и других исполнительных органов помогают своевременно выявлять отклонения и устранять проблемы.

Особенно важны настройки моментов переключения передач, оптимальных значений буксования сцепления и величины тормозного усилия, которое применяется при остановке автомобиля.

Качество трансмиссионного масла оказывает решающее значение на продолжительность эксплуатации КПП. Важно применять синтетические или

полусинтетические масла с присадками, улучшающими защиту от окисления и старения.

Система охлаждения трансмиссии, оборудованная дополнительными теплообменниками, способствует эффективному отводу тепла и защищает механизмы от перегрева, обеспечивая стабильность их работы даже при экстремально тяжелых нагрузках.

Современная техника обладает большим потенциалом по увеличению сроков своей службы благодаря широкому спектру доступных мер по поддержанию функциональности и устранению дефектов. Приведённые в статье рекомендации позволят фермерам и специалистам сервисных служб эффективно поддерживать технику в рабочем состоянии длительное время, снижая общие расходы на ремонт и увеличивая рентабельность бизнеса.

Важно помнить, что правильная организация технического обслуживания и профилактика отказа машин обеспечиваются соблюдением всех норм и регламентов, предписанных производителем, а также применением новейших достижений науки и техники в области защитно-восстановительных технологий.

Правильно подобранные методы и инструменты позволяют обеспечить бесперебойную работу сельскохозяйственной техники на протяжении многих сезонов, создавая основу для стабильного роста экономики и повышения конкурентоспособности отечественных производителей.

### *Библиографический список*

1. Агеев, Е. В. Инновационная технология восстановления изношенных деталей автотракторной техники путем применения электропечарных покрытий на основе электроэрозионных напосредств / Е. В. Агеев, Л. Н. Серебровская, С. А. Грашков // Интеграция науки и сельскохозяйственного производства: материалы Международной научно-практической конференции. — 2017. — С. 63–68.

2. Технология восстановления наружной резьбы распределительного вала методом электроконтактной наварки проволоки / С. А. Грашков, А. К. Перцев, А. А. Струков, Ю. А. Епишев // Современные ресурсоэффективные технологии и технические средства в АПК: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции / отв. за выпуск С. Н. Петрова. — Курск, 2021. — С. 157–160.

3. Жданов, С. И. Новое в технологии восстановления и упрочнения деталей / С. И. Жданов, Н. В. Коняев // Актуальные вопросы инновационного развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции / отв. за выпуск И. Я. Пигорев. — 2016. — С. 190–192.

4. Иваницкий, И. С. Особенности состава тракторного парка в РФ / И. С. Иваницкий, Н. В. Коняев // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст. 6-й Всерос. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых: в 3 т. / отв. ред. М. С. Разумов. — Курск, 2022. — С. 348–351.

5. Ишков, И. О. К износу деталей сельскохозяйственной техники / И. О. Ишков, Н. В. Коняев, Б. С. Блинков // Будущее науки -2022: сб. науч. ст. 10-й Междунар. молодежной науч. конф. — Курск, 2022. — С. 469–472.
6. Ишков, И. О. Способы восстановления изношенных деталей / И. О. Ишков, Н. В. Коняев, Б. С. Блинков // Будущее науки -2022: сб. науч. ст. 10-й Междунар. молодежной науч. конф. — Курск, 2022. — С. 467-469.
7. Коняев, Н. В. Особенности современного парка тракторов / Н. В. Коняев, И. С. Иваницкий // Современные проблемы и направления развития агроинженеров в России: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. — Курск, 2021. — С. 45–47.
8. Метод ускоренного диагностирования форсунок на коксование / А. А. Карташов, А. В. Лахно, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 176. – С. 85-95.
9. Пастухов, А. Г. Диагностирование опорных узлов трансмиссии на основе изучения термонагруженности / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 61-68.
10. Евсенина, М.В. Текущий ремонт подвижного состава в автотранспортном предприятии: экономическая оценка / М.В. Евсенина, И.Н. Горячкина // Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы. - Курск. - 2020. - С. 150-153.
11. Попов, А. С. Влияние температуры моющей жидкости на процесс кавитационной очистки наружных поверхностей сельскохозяйственной техники / А. С. Попов, В. Н. Туркин // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : материалы II-ой Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова. - Рязань, 2022. - С. 299-304.
12. Бакулина, Г.Н. Анализ использования зерноуборочных комбайнов / Г.Н. Бакулина, В.В. Федоскин, М.Ю. Пикушина // Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки: материалы 74-й международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 157-164.
13. Кончин, В. А. Анализ неисправностей турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания / В. А. Кончин, Д. Д. Шемардинов, Н. И. Белоусов // Молодежь и XXI век - 2024 : Сборник научных статей 13-й Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Курск, 15–16 февраля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 142-145.
14. Терентьев, О. В. Повышение эксплуатационной надежности машин / О. В. Терентьев, А. В. Старунский // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Курск, 28 октября 2022 года. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2022. – С. 221-224.

## Секция 4. Вопросы внедрения цифровых технологий в АПК

УДК 637.1.023

*Корнилов И. А., студент 1 курса,  
Мишина Т.О.  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ: СТРАТЕГИИ, ТЕХНОЛОГИИ И БУДУЩЕЕ**

Современный агропромышленный сектор сталкивается с вызовами, требующими срочных и инновационных решений: увеличение численности населения в мире, изменения климата, истощение природных ресурсов и необходимость обеспечения продовольственной безопасности. В этой ситуации искусственный интеллект (ИИ) перестает быть просто технологической новинкой и становится важным фактором, способствующим повышению продуктивности, стабильности и устойчивости отрасли. Внедрение ИИ-технологий позволяет не только автоматизировать отдельные процессы, но и кардинально оптимизировать весь цикл — от предсказательного планирования и точного земледелия до логистики и уменьшения экологического воздействия. В данной статье рассматриваются основные направления использования интеллектуальных систем в сельском хозяйстве, анализируются реальные примеры и определяются пути развития агротехнического сектора.

1. Глубокая автоматизация производственных процессов: от дронов, парящих над полями, до беспилотных комбайнов, рассекающих золотые нивы.

Автоматизация, ведомая искусственным интеллектом, – это уже не просто механизация, а рождение киберфизических симфоний. В этих системах техника, оцувствлённая сенсорами и обученная алгоритмами, обретает разум, становясь самостоятельным агентом, способным принимать решения в реальном времени.

- **Беспилотная поступь нового поколения сельхозтехники.** Современные системы автопилотирования для тракторов и комбайнов, как, например, российские разработки Cognitive Pilot или мировые решения от John Deere, опираются на компьютерное зрение и всевидящие лидары. Они не просто следуют GPS-трекам, но и чутко реагируют на изменчивый ландшафт: обходят препятствия, корректируют траекторию при скольжении и работают с точностью до долей сантиметра. Это не только облегчает труд оператора, но и экономит драгоценное топливо (до 10-15 %) и семена, исключая досадные «двойные проходы».

- **Дроны-агрономы, парящие над урожаем.** Мультикоптеры и беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащённые мультиспектральными и гиперспектральными камерами, словно орлиным взором, пронзают поля, проводя детальную съёмку каждого уголка. Алгоритмы машинного обучения кропотливо анализируют полученные изображения, выявляя не просто проблемные участки, а тончайшие паттерны,

сигнализирующие о дефиците азота, начинающемся коварном заболевании (например, фитофторозе) или коварных очагах сорняков. На основе этой цифровой карты создаётся «цифровой рецепт» для дифференцированного внесения средств защиты растений (СЗР) или живительных удобрений. Такой подход позволяет сократить использование химикатов на впечатляющие 20-50 %, что напрямую снижает себестоимость продукции и смягчает воздействие на хрупкую экосистему.

- Роботы, танцующие на полях, для сложнейших операций. На арену выходят узкоспециализированные роботизированные платформы, созданные для выполнения деликатных задач: механической прополки (роботы FarmWise), точечного нанесения гербицидов (системы See & Spray), бережного сбора фруктов (роботы FFRobotics, Tevel). Их «зрение» и ловкие манипуляторы, обученные различать культурные растения от сорняков, определять идеальную спелость плода и аккуратно срывать его, решают острую проблему нехватки сезонных рабочих рук.

2. Прецизионное планирование и управление посевами: данные – новый урожай, прорастающий из земли.

Планирование перестаёт быть рутинной бюрократической процедурой и превращается в науку, основанную на неопровержимых данных. ИИ-системы для планирования функционируют как прогностические аналитические платформы, обрабатывающие терабайты структурированной и неструктурированной информации.

- Анализ заветов прошлого и карт почвенных сокровищ. Алгоритмы скрупулезно оценивают многолетнюю статистику урожайности на каждом конкретном участке поля, разделяя его на однородные зоны, словно на клетки шахматной доски. Они анализируют химический состав и жадную влагоёмкость почвы, раскрывая её сокровенные секреты.

- Интеграция небесных пророчеств метеомоделей. Системы подключаются к сервисам сверхточного (гиперлокального) предсказания погоды, учитывая не просто общий уровень осадков, но и коварную вероятность заморозков в низинах, динамику солнечного сияния и скорость испарения живительной влаги.

- Генетический код семян, спящий в ожидании. Данные о семенном материале (его засухоустойчивость, продолжительность вегетационного периода, чуткость к удобрениям) вносятся в цифровую модель. В результате фермер получает не общие рекомендации, а точный, словно выверенный врачом рецепт для каждого гектара: какой сорт, в какой день, на какую глубину сеять и какую норму высева применять, чтобы добиться максимальной отдачи. Российская система «Цифровое поле» (Rosagro) или международная FarmLogs служат яркими примерами таких комплексных платформенных решений, способных повысить урожайность в среднем на 5-15 %.

3. Интеллектуальная переработка и логистика: сокращение потерь на финальной миле к столу.

По оценкам ФАО, до 30 % произведённого продовольствия безвозвратно теряется в извилистой цепочке «сбор-потребление». ИИ бросает вызов этой проблеме на каждом этапе.

- Автоматическая сортировка и бескомпромиссный контроль качества. Линии переработки оснащаются высокоскоростными камерами и чуткими спектрометрами. Нейросети в режиме реального времени, словно опытные дегустаторы, анализируют каждую единицу продукции (картофель, яблоко, томат, мясную тушу) по десяткам параметров: размер, цвет, наличие изъянов, скрытые внутренние повреждения (например, гниль), состав (процент жира в мраморном мясе, уровень сахара в сочных фруктах). Это позволяет не только отбраковать некондицию, но и направить продукт в оптимальный канал сбыта (премиум-сегмент, переработка, консервация), максимизируя прибыль.

- Предиктивная логистика и управление запасами, предвидение потребностей. ИИ-алгоритмы с поразительной точностью прогнозируют спрос на продукцию в разных регионах, учитывая сезонные колебания, праздничные дни, экономические тренды. Они оптимизируют маршруты доставки, учитывая коварные пробки, капризы погоды и состояние дорог, а также вычисляют идеальные условия хранения (температура, влажность, газовый состав) для каждого типа продукции, динамически адаптируя их для увеличения срока годности. Компания «Мираторг», например, успешно использует подобные системы для управления сложнейшей логистикой мясной продукции.

Экологическая устойчивость: «зелёный» след, вычерченный данными на карте будущего.

ИИ становится передовым инструментом «зелёной» агрореволюции.

- Минимизация химической нагрузки, забота о здоровье почвы. Как уже упоминалось, прицельное внесение СЗР и удобрений резко сокращает их общий объем, предотвращая попадание излишков в подземные воды и реки.

- Сохранение бесценных водных ресурсов. Системы «умного» орошения (AquaSpry, CropX), опираясь на данные с почвенных датчиков и точные прогнозы испарения, вычисляют точную потребность культуры в живительной влаге и включают полив только там и тогда, где это действительно необходимо. Это позволяет экономить до 20-40 % водных ресурсов, что жизненно важно в засушливых регионах.

- Мониторинг деградации земель и углеродного следа, взгляд из космоса. Российская система спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель, разработанная в Сколтехе или Институте космических исследований РАН, с помощью ИИ отслеживает процессы эрозии, засоления и опустынивания. Кроме того, появляются инструменты для точного расчёта углеродного следа сельскохозяйственной продукции и управления углеродными квотами, что становится новым финансовым инструментом для ответственных производителей.

4. Преимущества, барьеры и стратегические перспективы: курс на будущее.

Преимущества уже становятся осязаемой реальностью для пионеров отрасли: рост урожайности на 10-25 %, снижение затрат на ГСМ, семена и СЗР

на 15-30 %, повышение качества и стандартизация продукции, минимизация экологического ущерба.

Однако на пути к всеобщему процветанию остаются существенные барьеры:

- Высокие капитальные затраты на передовое оборудование и программное обеспечение.
- Цифровое неравенство: благами новых технологий активно пользуются крупные холдинги, в то время как малые и средние фермерские хозяйства зачастую лишены необходимых средств и компетенций.
- Кадровый голод: требуются не только опытные агрономы, но и data-сайентисты, операторы дронов, IT-специалисты.
- Проблема данных: вопросы владения, безопасности и совместимости данных между разными платформами.

Перспективы развития лежат на пути конвергенции технологий:

1. Интернет вещей (IoT): Поток данных будет расти в геометрической прогрессии благодаря сети дешёвых, автономных датчиков, размещённых в почве и на растениях.

2. Геномика и ИИ: Алгоритмы будут проектировать сорта и гибриды, идеально адаптированные под конкретные почвенно-климатические условия и прогнозируемые изменения климата.

3. Цифровые платформы и сервисные модели: Доступ к лучшим ИИ-инструментам будет предоставляться по подписке (SaaS), что значительно снизит порог входа для малых хозяйств.

4. Блокчейн для прослеживаемости: В сочетании с ИИ это предоставит потребителю полную, прозрачную историю продукта «от поля до прилавка».

Заключение

Интеллектуальные системы прекращают быть опцией и становятся жизненно важной необходимостью для конкурентоспособного и устойчивого агропромышленного комплекса. Успех внедрения будет зависеть от слаженных действий всех участников: государства (создание инфраструктуры и разработка программ поддержки), бизнеса (инвестиции в R&D и пилотные проекты) и образовательных учреждений (подготовка новой генерации «цифровых агрономов»). Будущее сельского хозяйства – это гармоничный симбиоз глубокого понимания биологических процессов и беспрецедентной вычислительной мощности, направленный на то, чтобы накормить человечество, не нанося вреда нашей планете.

### *Библиографический список*

1. Алиев, А. А. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве: перспективы и вызовы / А. А. Алиев. – М.: Инфра-М, 2022. – 180 с.
2. Балашов, А. И. Цифровизация агропромышленного комплекса: технологии и управление / А.И. Балашов. – СПб.: Питер, 2021. – 256 с.
3. Волков, С. Н. Точное земледелие: основы и применение / С.Н. Волков. – М.: Колос, 2020. – 320 с.

4. Григорьев, А. А. Интеллектуальные системы в производстве: теория и практика / А.А. Григорьев. – М.: Юрайт, 2023. – 210 с.
5. Иванов, П. С. Роботизация в сельском хозяйстве: современные тенденции / П.С Иванов. – М.: ДеЛи плюс, 2022. – 150 с.
6. Олейник, Д. О. Моделирование траектории полета беспилотного летательного аппарата для опрыскивания сельскохозяйственных культур в среде "TRIK Studio" / Д. О. Олейник, П. А. Леденева, Д. И. Пылаева // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 301-305.

**УДК 338**

*Семина Е.С., к.т.н.,  
Максименко О.О., к.т.н., доцент,  
Слободскова А.А., к.т.н.,  
Чванов З.И., студент,  
Денисов А.И., студент  
ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, РФ*

## **ПРЕПЯТСТВИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

В статье проведен анализ влияния цифровой трансформации на развитие энергетического сектора. Центральное место в исследовании занимает обзор практик внедрения интеллектуальных платформ в ведущих российских компаниях.

Ключевые слова: электроэнергетика, среда, электрические сети, интернет вещей.

Интернет вещей играет ключевую роль в модернизации энергетической отрасли, обеспечивая непрерывный мониторинг состояния оборудования. Сенсорные сети собирают данные о параметрах работы генераторов, трансформаторов и линий электропередачи в режиме реального времени. Цифровизация электроэнергетики представляет собой процесс повсеместного внедрения управляемых цифровых устройств, интегрированных в интернет-сети, на всех уровнях энергосистемы – от генерирующего оборудования и сетевой инфраструктуры до конечных потребителей, включая бытовой сектор. Данная трансформация создает технологическую основу для построения интеллектуальных систем управления, функционирующих на принципах межмашинного взаимодействия (M2M, IoT) [1,2].

Это позволяет оперативно выявлять отклонения и предотвращать аварийные ситуации. Распределенные энергоресурсы, включая возобновляемые источники энергии, требуют координации управления для обеспечения баланса спроса и предложения. IoT-платформы интегрируют информацию от

множества источников, формируя единую картину состояния энергосистемы. Системы автоматического регулирования на основе этих данных оптимизируют распределение мощности. Такой подход повышает надежность электроснабжения и снижает эксплуатационные издержки.

Искусственный интеллект применяется для прогнозирования нагрузки на энергосистему с использованием методов машинного обучения. Анализ исторических данных о потреблении и внешних факторов позволяет строить точные модели спроса. Это способствует оптимизации планирования генерации и предотвращению перегрузок сетевой инфраструктуры [3,4]. Цифровая трансформация энергетики предполагает массовое внедрение интернет-ориентированных цифровых устройств на всех уровнях – от генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры до конечных абонентов. Данный подход закладывает основу для построения интеллектуальных систем управления, функционирующих по принципам межмашинной коммуникации. Технологическая модернизация кардинально меняет формат взаимодействия между потребителями и энергокомпаниями, параллельно трансформируя внутренние бизнес-процессы участников энергорынка. Блокчейн-технологии обеспечивают безопасное проведение транзакций в энергетических сетях, особенно при использовании децентрализованных моделей. Смарт-контракты автоматизируют процессы купли-продажи энергии между участниками рынка без посредников. Это повышает прозрачность расчетов и снижает риски мошенничества. Внедрение распределенных реестров также способствует развитию пиринговых энергетических платформ.



Рисунок 1 – Структура энергосистемы [13]

Период 2020-2023 годов характеризовался экспоненциальным ростом применения искусственного интеллекта для управления процессами генерации энергии. Компании активно внедряли AI-алгоритмы для оптимизации режимов работы электростанций и прогнозирования спроса. Данные меры способствовали оптимизации расхода топлива и сокращению эксплуатационных затрат. Параллельно происходило активное внедрение IoT-решений для предиктивного обслуживания техники [5].

Согласно Statista, объем мирового рынка ИИ в энергетике в 2022 году достиг \$7,78 млрд, а к 2030 году ожидается его рост до \$20,32 млрд (годовой темп роста 13,1 %). Эта динамика подтверждает растущий интерес отрасли: 81 % энергокомпаний планируют внедрить ИИ-технологии до 2025 года для перехода к экологичной энергетике. Пандемия COVID-19 и регуляторные инициативы стали катализаторами ускорения цифровизации энергосетей в период 2019-2024 годов. Необходимость обеспечения устойчивости систем и удаленного управления стимулировала инвестиции в интеллектуальные сети. Особенно заметной стала активизация разработки блокчейн-решений для P2P-трейдинга электроэнергии. Пик инвестиций в блокчейн-технологии для децентрализованной торговли энергией пришелся на 2022-2024 годы. Данные решения позволяли создавать прозрачные и безопасные платформы для прямых сделок между производителями и потребителями [7,8]. Такой подход способствовал развитию распределенной энергетики и повышению гибкости рынка.

Современные интеллектуальные энергосистемы формируют двухсторонние потоки данных за счет интеграции сенсорных сетей и систем автоматического управления. Цифровые подстанции обеспечивают высокоскоростной обмен информацией между различными компонентами сети. «Совокупность современных решений по созданию энергообъединений, интегрированных с новыми информационными технологиями получила название Smart Grid». Данный подход предполагает качественно новую организацию управления энергосистемой. Ключевым элементом является создание высокопроизводительной информационной инфраструктуры для управления сетью в реальном времени. Она позволяет операторам получать ситуационную информацию и предпринимать упреждающие действия по восстановлению нормальных режимов работы. Внедрение гибких связей и накопителей энергии повышает маневренность и управляемость сети. Таким образом, Smart Grid обеспечивает основу для развития информационной энергетики [9].

Перспективы развития интеллектуальных сетей связаны с внедрением передовых технологий, таких как квантовые сенсоры и автономные микрогриды. Стандартизация протоколов становится критически важной для обеспечения межсистемной совместимости компонентов сети. Необходимость преобразований вызвана сочетанием возрастающих запросов потребителей и технологических вызовов. Внедрение автономных микрогридов позволит повысить устойчивость локальных энергосистем. Квантовые сенсоры обеспечат более точный мониторинг параметров сети. Стандартизация протоколов обмена

данными будет способствовать интеграции разнородных систем в единую инфраструктуру.

В результате анализа трендов внедрения цифровых технологий в энергетической отрасли за период 2019-2024 годов подтверждена ключевая роль таких инноваций, как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI) и блокчейн. Концепция Smart Grid идентифицирована как фундаментальный элемент цифровой трансформации, обеспечивающий создание интеллектуальных и устойчивых энергетических систем. Эти технологии формируют основу для перехода к более управляемым и адаптивным инфраструктурам.

Практическая оценка влияния цифровизации демонстрирует ее значительный вклад в повышение операционной эффективности энергетических компаний. Внедрение интеллектуальных систем способствует оптимизации процессов генерации энергии и существенному снижению потерь в сетях. Данные изменения не только повышают конкурентоспособность предприятий, но и способствуют улучшению экологических показателей отрасли.

Исследование выявило основные барьеры при внедрении цифровых решений, включая риски кибербезопасности, высокие затраты и нехватку квалифицированных специалистов. На основе анализа успешных кейсов российских компаний разработаны конкретные рекомендации для оптимизации процессов цифровой трансформации. Эти меры направлены на преодоление выявленных препятствий и обеспечение эффективного внедрения технологий.

Системный подход к цифровизации, учитывающий выявленные тренды и барьеры, является критически важным для решения глобальных задач энергетики. Он обеспечивает достижение устойчивости, повышение уровня безопасности и адаптацию к использованию возобновляемых источников энергии. Таким образом, работа подтверждает необходимость комплексной стратегии для успешной трансформации отрасли в условиях Четвертой промышленной революции.

Внедрение IoT-сенсоров позволяет осуществлять непрерывный мониторинг параметров работы генерирующего оборудования в реальном времени. Это обеспечивает контроль критических показателей производительности и состояния агрегатов. Системы искусственного интеллекта анализируют поступающие данные для автоматизации процессов управления. «Внедрение IoT-сенсоров и систем искусственного интеллекта для автоматизации управления генерирующим оборудованием» способствует повышению надежности энергоснабжения. Автоматизированные системы управления на базе искусственного интеллекта оптимизируют работу энергоблоков с учетом текущей нагрузки и рыночных условий. Алгоритмы машинного обучения адаптируют режимы эксплуатации к изменяющимся внешним факторам. Это позволяет снижать удельный расход топлива и минимизировать экологические выбросы. Интеллектуальные решения обеспечивают повышение общей эффективности генерирующих мощностей [10].



Рисунок 2 – Распространение цифровых решений среди российских предприятий ТЭК [13]

Цифровые двойники создают виртуальные копии физических объектов электростанций для моделирования различных сценариев работы. Предиктивные модели анализируют исторические данные и прогнозируют состояние оборудования. Это позволяет оптимизировать топливный цикл за счет выбора наиболее экономичных режимов. «Повышение эффективности» достигается за счет сокращения эксплуатационных затрат. Интеграция предиктивных моделей в системы управления обеспечивает прогнозирование оптимальных параметров работы энергоблоков. Цифровые двойники позволяют тестировать изменения режимов без остановки реального оборудования. Это способствует увеличению межремонтных интервалов и продлению срока службы генерирующих установок. Оптимизация процессов на основе цифровых технологий приводит к повышению производительности электростанций.

Цифровые системы мониторинга в реальном времени позволяют оперативно выявлять коммерческие и технические потери электроэнергии в распределительных сетях. Эти системы основаны на установке интеллектуальных приборов учета и датчиков, передающих данные о потреблении и параметрах сети. Автоматизированный сбор информации

обеспечивает точное определение мест возникновения неучтенных расходов энергии. Современные системы учета обеспечивают передачу данных о реальном энергопотреблении в режиме реального времени. Однако их внедрение сталкивается с проблемой низкого охвата: по последним данным, уровень оснащённости российского розничного энергорынка автоматизированными приборами учета не превышает 9 %. Несмотря на это, интеллектуальный учет представляет собой фундаментальную основу для построения умных сетей, поскольку позволяет оперативно выявлять зоны формирования коммерческих и технологических потерь. Дальнейшее расширение систем мониторинга способствует снижению как технологических утечек, так и несанкционированного потребления, повышая общую эффективность сетевого хозяйства [11].

Прогнозная аналитика на основе исторических данных и машинного обучения оптимизирует балансировку нагрузки в электрических сетях. Алгоритмы предсказывают пики спроса и возможные перегрузки участков, позволяя диспетчерам перераспределять потоки мощности. Это минимизирует технические потери, вызванные неоптимальными режимами работы оборудования. Результатом становится повышение стабильности сети и снижение операционных издержек.

Алгоритмы предиктивного обслуживания используют данные сенсоров и ИИ для заблаговременного выявления потенциальных отказов сетевой инфраструктуры. Предотвращение аварий уменьшает аварийные потери электроэнергии и повышает надежность снабжения потребителей.

Практический опыт внедрения интеллектуальных платформ в российских энергокомпаниях демонстрируется на примере ПАО «Россети» и ПАО «Газпром энергохолдинг». Эти компании являются лидерами в цифровизации энергетической инфраструктуры страны. Реализуемые проекты включают внедрение систем на базе искусственного интеллекта и интернета вещей. Данные инициативы направлены на модернизацию управления энергосетями и повышение их надежности. В ПАО «Россети» активно тестируются интеллектуальные решения для мониторинга состояния линий электропередач. Компания использует искусственный интеллект для анализа данных с датчиков и прогнозирования потенциальных сбоев. Это позволяет своевременно принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций. Внедрение подобных систем способствует повышению устойчивости энергоснабжения потребителей.

Оценка результатов внедрения цифровых платформ в ПАО «Газпром энергохолдинг» показала значительное улучшение экономических показателей. Анализ данных позволил выявить снижение операционных и управленческих затрат в среднем на 15 %. Также наблюдалось уменьшение коммерческих издержек на 35 % и сокращение дебиторской задолженности на 12 %. Эти изменения свидетельствуют об эффективности цифровой трансформации в компании. Достижения ПАО «Россети» включают сокращение аварийности в пилотных регионах на 8 % благодаря внедрению систем искусственного интеллекта для мониторинга линий электропередач. Дополнительно отмечается

повышение точности поставки услуг и увеличение оборота материальных запасов на 30 %. Полученные результаты подтверждают потенциал интеллектуальных платформ для оптимизации затрат на обслуживание инфраструктуры.

Внедрение цифровых технологий в энергетике сталкивается с технологическими и экономическими ограничениями. Ключевым барьером являются уязвимости кибербезопасности интеллектуальных систем, что создает риски для критической инфраструктуры. Высокие капитальные затраты на цифровизацию также ограничивают масштабы внедрения, особенно для небольших компаний. Эти факторы требуют комплексного подхода к управлению рисками и инвестициям.

Дефицит квалифицированных специалистов для разработки и эксплуатации цифровых решений представляет системный барьер для отрасли. Недостаток кадров с необходимыми компетенциями в области анализа данных и кибербезопасности замедляет цифровую трансформацию. «В части общих вызовов современности хотелось бы отметить, что информационная безопасность также подвержена проблемам нехватки кадров и отставания технологий, как и другие отрасли. Данная проблема требует развития образовательных программ и переподготовки персонала [12].

Оптимизация внедрения цифровых технологий требует методологии поэтапной реализации проектов с четкой приоритизацией. Ключевыми критериями отбора должны выступать экономическая эффективность и технологическая зрелость решений. Такой подход обеспечивает рациональное распределение ресурсов и минимизирует риски. Внедрение начинается с пилотных проектов, демонстрирующих быструю окупаемость и низкую сложность интеграции.

Необходима разработка комплексных программ для развития кадрового потенциала и формирования отраслевых стандартов кибербезопасности цифровых активов [13]. Это включает создание специализированных учебных центров и внедрение непрерывного профессионального образования. Комплекс предложенных мер включает: создание экологических дата-центров для систем ИИ, внедрение единых стандартов кибербезопасности, предоставление субсидий субъектам малого предпринимательства и развитие международного технологического партнерства. Реализация данных направлений формирует прочный фундамент для цифровой трансформации энергетического сектора.

### ***Библиографический список***

1. Контурный анализ электрической цепи сельскохозяйственного назначения по структурным признакам ее схемы / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 133-140.

2. Основные области цифровой трансформации в сельском хозяйстве / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 145-153.

3. Исследование электрохимической коррозии ст. 3 и цинка в водном растворе птичьего помета / Е. С. Семина [и др.] // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 126-132.

4. Семина, Е. С. Лабораторные исследования предпосевной обработки семян галеги Восточной / Е. С. Семина, А. А. Слободскова, А. А. Веселов // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 17 июня 2022 года / Юго-Западный государственный университет; Орловский госуниверситет имени И.С. Тургенева; Московский политехнический университет. Том 3. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 381-384.

5. К вопросу повышения эффективности технических средств системы линейного электромагнитного привода / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 192-199.

6. Учет электрической энергии сельскохозяйственных потребителей / Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. А. Слободскова, З. И. Чванов // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 184-191.

7. К вопросу кормления сухостойных коров / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, О. О. Максименко, А. М. Зинган // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 3(19). – С. 69-73.

8. Анализ зерносушильных установок / А. А. Слободскова, Н. М. Латышенок, Е. С. Семина, О. О. Максименко // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 313-320.

9. Здоровый микроклимат в животноводческих помещениях / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенок, И. А. Новикова // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2022. – № 2(15). – С. 101-105.

10. Морозов, А. С. Совершенствование технического средства для лечения маститов у коров в сухостойный период / А. С. Морозов, Е. С. Семина // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года. Том Часть 1. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 397-401.
11. К вопросу надежности молокоохладительных установок / Е. С. Семина [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 111-118.
12. Вопросы совершенствования электроснабжения в агропромышленном комплексе / А. А. Слободскова, Е. С. Семина, Н. М. Латышенко, О. О. Максименко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 178-184.
13. Филатова, Р. В. Тренды внедрения цифровых технологий в энергетической отрасли / Р.В. Филатова, С.В. Пирогова // Крымский научный вестник. – 2020. – № 1 (26). – С. 19-24.
14. Черкашина, Л.В. Технологическая трансформация аграрного производства посредством цифровизации / Л.В. Черкашина, М.В. Евсенина // Мировой опыт и экономика регионов России. - Курск. - 2020. - С. 387-391.
15. Тенденции применения технологии искусственного интеллекта российскими организациями / Л.В. Черкашина, Л. А. Морозова, Л. В. Романова, Е.А. Чернышева // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности, Рязань, 25 апреля 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 280-285.
16. Использование программных комплексов 3D моделирования в альтернативной энергетике / А. В. Шемедюк, Д. Е. Каширин, Н. Б. Нагаев, И. О. Елисеев // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: РГАТУ, 2022. – С. 318-323.
17. Кирсанова, А.Н. Внедрение цифровых технологий в электроэнергетику России / А.Н. Кирсанова, О.И. Ванюшина, О.В. Лозовая // Перспективные научные исследования высшей школы: Материалы студенческой научной конференции. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 340-341.
18. Серебровский, В. И. Применение современных цифровых технологий в образовательном пространстве аграрного вуза / В. И. Серебровский, В. А. Кончин // Образование. Инновации. Качество : Материалы VI Международной научно-методической конференции. В 2-х частях, Курск, 29 января 2025 года / Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова. – Курск, 2025. – С. 321-328.
19. Развитие цифровых технологий в пчеловодстве / Ю. В. Петряжникова [и др.] // Актуальные проблемы и приоритетные направления развития современной ветеринарной медицины, животноводства и экологии : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязань, 11 апреля 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 250-258.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАПАХОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА**

Животноводческие и птицеводческие предприятия характеризуются значительной эмиссией большого количества запахообразующих веществ [4, 9]. Причем источником служат сами животные, корма, побочные продукты животноводства: навоз, навозные стоки, птичий помет [1, 5, 7]. В процессе микробиологической деструкции навозных стоков образуются сероводород, аммиак, короткоцепочечные жирные кислоты, тиоспирты, тиоэфиры, биогенные амины, спирты, фенолы, крезолы и многие другие соединения с весьма неприятным запахом [6, 8, 9].

Жители городов ежедневно сталкиваются с различными запахами от животноводческих комплексов, промышленных предприятий, очистных сооружений и полигонов отходов. Запаховое загрязнение воздуха влияет на качество жизни, вызывает стресс, нарушает физиологические функции организма и ведет к развитию различных заболеваний [2, 3].

Запаховое загрязнение представляет собой воздействие на органы обоняния человека летучими запахообразующими веществами, которые зачастую имеют сложный химический состав [9]. Оно обладает рядом уникальных характеристик, отличающих его от других видов загрязнения атмосферного воздуха. Под субъективностью восприятия запаха понимается различная реакция у людей в зависимости от их индивидуальных особенностей, психологического состояния, личного опыта, возраста и пола. Многие запахообразующие вещества не имеют установленных ПДК, что затрудняет установление норм и осуществление контроля, а их концентрации настолько низкие, что стандартные приборы и сенсоры газовых анализаторов не способны их зафиксировать.

Классические методы мониторинга качества воздуха, основанные на работе выездных лабораторий и газовых сенсоров на стационарных площадках, имеют существенные ограничения, такие как высокая стоимость оборудования, ограниченный пространственный охват, низкая временная разрешающая способность, сложность логистики, невозможность равномерного охвата территории [1, 9].

В этой ситуации требуется кардинально новый подход, альтернативная система, которая была бы доступна широкому кругу пользователей, оперативна в получении данных, экономически эффективна, способна охватить весь город с высокой пространственной разрешающей способностью [10].

Целью настоящей работы является анализ современных методов цифровизации и ускорения обработки информации с последующей

визуализацией результатов на основе применения искусственного интеллекта, методов гражданской науки, GIS-технологий и Human Footprint Index.

В качестве основания для онлайн-мониторинга загрязнения была выбрана веб-платформа. Ее использование обусловлено следующими факторами: доступностью каждому жителю города, имеющему компьютер или смартфон и интернет, удобством (интуитивный интерфейс позволяет быстро внести информацию о случае загрязнения), масштабируемостью (система может легко расширяться при увеличении числа пользователей), интегрируемостью (возможностью подключения внешних сервисов (карты, API, базы данных)) и открытостью (публичная визуализация результатов повышает прозрачность).

Основные принципы работы веб-сервиса мониторинга запахового загрязнения базируются на совместной работе ключевых компонентов: искусственный интеллект (ИИ), гражданская наука, геоинформационные системы и Human Footprint Index.

Использование ИИ позволяет автоматизировать анализ текстовых описаний запахов, поступающих от граждан; классифицировать события по типам, интенсивности и источникам; валидировать поступающие данные и отфильтровывать некорректную информацию.

Концепция гражданской науки служит драйвером для массового сбора экологических данных, позволяя вовлекать население (каждый житель может стать участником научного исследования), проводить непрерывный мониторинг (граждане фиксируют события в любое время суток); создавать высокую пространственную плотность (охват всех районов города) и экономическую эффективность (отсутствует необходимость в дорогостоящем оборудовании).

Геоинформационные системы играют ключевую роль в пространственном анализе экологических данных за счет визуализации источников и очагов загрязнения на карте города; наложения слоев информации для выявления корреляций и закономерностей; создания интерактивных карт для общественного доступа к результатам.

Интегральный показатель антропогенного воздействия на окружающую среду Human Footprint Index (HFI) позволяет определить зоны города с наиболее высокой вероятностью возникновения запахового загрязнения. Карта HFI служит основой для наложения данных о запаховом загрязнении и позволяет выявлять связь между уровнем антропогенного давления и наличием неприятных запахов. HFI учитывает восемь основных компонентов человеческого влияния: плотность населения, застроенность территории, ночные огни, сельскохозяйственные земли, дорожная инфраструктура, железнодорожная сеть, судоходные водные пути. Система принимает в учет только уникальные анкеты. Для обеспечения качества данных от одного пользователя принимается не более одной анкеты в течение 24 часов, что позволяет избежать искусственного завышения количества жалоб.

На первом этапе осуществляется сбор информации от граждан через веб-интерфейс платформы. Пользователь заполняет специальную форму, включающую дату и время обнаружения загрязнения; место события (адрес или

выбор на карте); оценку интенсивности (по шкале от 1 до 10, где 0 означает полное отсутствие влияния, а 10 максимальное воздействие).

На втором этапе поступившие данные подвергаются автоматизированной обработке. Нейронная сеть анализирует полученные данные, выделяя ключевые слова и определяя дату и время, а также местоположение источника. После обработки информации система начинает валидацию результатов, проверяя координаты на предмет корректности; время события на предмет логичности; описание на предмет явных ошибок.

На третьем этапе происходит пространственная обработка информации. Геокодирование подразумевает преобразование адреса в координаты широты и долготы. Каждое событие связывается с соответствующим значением NFI для данной ячейки сетки.

На четвертом этапе результаты отображаются на интерактивной карте в виде наложения визуальных маркеров («факелов», представляющих очаги запахового загрязнения), при чем размер каждого «факела» пропорционален количеству поступивших жалоб в радиусе 100-150 метров, а цвет варьируется от светлого (единичные события) к темному/красному (множество событий).

На пятом этапе осуществляется постоянный мониторинг ситуации. Карта обновляется в реальном времени по мере поступления новых данных. Система отправляет уведомление пользователям, которые сообщили о событии с информацией о динамике ситуации.

Заключение. Предлагаемый комплексный подход к мониторингу запахового загрязнения атмосферного воздуха имеет явные преимущества. Среди них можно выделить полное покрытие города с возможностью выявления каждого события, непрерывную регистрацию событий, немедленную обработку данных в реальном времени, активное участие и вовлечение неравнодушной общественности, наличие открытых данных для всех, объективность данных за счет восприятия человеческой сенсорной системой, низкая стоимость обслуживания и возможность прогнозирования за счет автоматического использования ИИ.

### *Библиографический список*

1. Богданова, В. В. Проблемы свиноводческой деятельности, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве свинарников / В.В. Богданова // Вестник науки. – 2023. – Т. 4. – № 1(58). – С. 259–263.

2. Бякова, О. В. Иммунобиохимический статус свиней при содержании на различных полах / О. В. Бякова, Л. В. Пилип // Иппология и ветеринария. – 2019. – № 4(34). – С. 67–73.

3. Гошин, М. Е. Запахи в атмосферном воздухе: анализ связи с состоянием здоровья и качеством жизни взрослого населения города с развитой пищевой промышленностью / М. Е. Гошин, О. В. Бударина, Ф. И. Ингель // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99 (12). – С. 1339–1345.

4. Пилип, Л. В. Метод очистки воздуха от запахообразующих веществ свинокомплексов / Л. В. Пилип // Технологии и технические средства

механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 4(101). – С. 137–146.

5. Пилип, Л. В. Оценка безопасности восстановленной подстилки, полученной на фильтрационно–сушильной установке / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 1(33). – С. 45–51.

6. Пилип, Л. В. Химический метод устранения запахов в промышленном свиноводстве / Л. В. Пилип, М. Э. Казакова // Бутлеровские сообщения. – 2020. – Т. 62. – № 4. – С. 88–93.

7. Солонщиков, П. Н. Определение годового выхода навоза при проектировании свиноводческих ферм и комплексов / П. Н. Солонщиков, Л. В. Пилип // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы: Коллективная монография. Часть 1. – Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 386 – 397.

8. Сырчина, Н. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 4. – С. 102–106.

9. Сырчина, Н. В. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор) / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. – 2024. – № 3. – С. 6–19.

10. Цифровые технологии в АПК: учебник / Е. В. Худякова, М. Н. Степанцевич, М. И. Горбачев / ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – М.: ООО «Мегаполис», 2022 – 220 с

11. Уливанова, А. Е. Анализ микробной контаминации воздуха производственной среды / А. Е. Уливанова, А. С. Карелин, Г. В. Уливанова // Научно-инновационные направления развития животноводства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 23 октября 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 202-207.

**УДК 636.018**

*Юрченко К.А., магистрант,  
Научный руководитель: Юрченко Е.Н., к. с.-х. наук, доцент  
ФГБОУ ВО Омский ГАУ, г. Омск, РФ*

## **ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАСТБИЩАМИ И РАЦИОНОМ ЖИВОТНЫХ**

Аннотация. В статье рассматривается современный подход к управлению пастбищами и рационом животных с применением сенсорных технологий и анализа больших данных. Показана роль дистанционного зондирования, IoT-датчиков и аналитических платформ в мониторинге состояния травостоя,

продуктивности животных и оптимизации кормления. Представлены ключевые направления интеграции, проблемы и перспективы для аграрных предприятий в условиях Западной Сибири.

Ключевые слова: пастбищное животноводство; сенсорные технологии; большие данные; рацион животных; дистанционное зондирование; IoT; Омская область.

Современное животноводство, особенно пастбищное, сталкивается с рядом вызовов: изменчивость кормовой базы, необходимость адаптации рационов к состоянию травостоя и продуктивности животных, а также требование повышения эффективности и устойчивости производства. В этих условиях интеграция сенсорных технологий и систем обработки больших данных (Big Data) становится одним из ключевых инструментов трансформации аграрного производства. Сенсоры позволяют собирать информацию о состоянии пастбищ и животных в реальном времени, а анализ больших массивов данных – выстраивать оптимальные решения по рациону, навигации стада и использованию угодий.

В Западной Сибири, в частности в Омском государственном аграрном университете имени П. А. Столыпина (далее – Омский ГАУ), отмечается рост интереса к цифровизации животноводства. Например, работа Косенчук О.В. и др. иллюстрирует анализ тенденций и внедрение цифровых решений в молочном скотоводстве Омской области [1]. Также отмечаются перспективы применения дистанционного зондирования для оценки пастбищных угодий [2].

Цель статьи – рассмотреть способы интеграции сенсорных систем и аналитики больших данных для управления пастбищами и рационом животных, выделить ключевые компоненты такой системы, указать на вызовы и возможности внедрения на региональном уровне.

Пастбищные угодья – динамичные экосистемы, подверженные влиянию климата и нагрузки животными. Традиционные методы оценки (геоботанические обследования) трудоёмки и не обеспечивают оперативность. В таких условиях активно развиваются технологии дистанционного зондирования (ДЗЗ), включая спутниковую и аэросъёмку [2].

Ключевые направления сенсорного мониторинга пастбищ:

- получение вегетационных индексов (например, NDVI) для оценки биомассы и продуктивности угодий;
- использование БПЛА и датчиков для выделения однородных зон и оптимизации размещения стада;
- применение наземных датчиков (почвенной влажности, микроклимата, роста травостоя) и IoT-устройств для локального мониторинга в реальном времени.

Эти технологии позволяют сформировать пространственно-временную картину состояния и продуктивности пастбищ, что является основой для управления рационом животных.

Сбор информации посредством сенсоров создаёт большие массивы данных: временные ряды, пространственные показатели, данные по животным и кормам. Их обработка и анализ составляют основу Big Data.

Важнейшие аспекты применения Big Data в животноводстве:

- объединение данных о травостое, почвенной влажности, погодных условиях, продуктивности животных и рационе;
- построение моделей, прогнозирующих продуктивность и оптимизирующих рацион;
- применение машинного обучения для выявления закономерностей и рекомендаций по кормлению;
- визуализация и поддержка принятия решений на цифровых платформах.

В Омской области анализ цифровых решений показывает, что лишь часть хозяйств применяет такие технологии, при этом существуют организационные и кадровые барьеры [1].

Для создания комплексной системы можно выделить следующие уровни:

- 1) Сбор данных: спутниковые и БПЛА-изображения, почвенные и микроклиматические сенсоры, GPS-ошейники, сенсоры здоровья животных.
- 2) Передача и хранение: IoT-сеть, облачное или локальное хранилище данных.
- 3) Аналитика: очистка данных, расчёт вегетационных индексов, прогнозирование продуктивности, кластеризация участков.
- 4) Интерфейс: визуальные панели, карты пастбищ, рекомендации по рациону и маршрутам.
- 5) Обратная связь: использование результатов для уточнения моделей и обучения алгоритмов.

Примером автоматизированного решения может служить патент RU2490875C2, описывающий систему контроля пастбы с использованием датчиков качества корма и маршрутов стада [3].

Для регионов Западной Сибири характерны большие площади угодий и сезонная изменчивость кормовой базы. Использование ДЗЗ и сенсорных систем позволяет решать задачи прогнозирования продуктивности и деградации пастбищ [4].

Для управления рационом сенсорные данные применяются для:

- определения оптимального времени перевода стада;
- корректировки рациона при снижении биомассы;
- анализа прироста и здоровья животных.

Исследования ОмГАУ показывают, что цифровизация в животноводстве региона приводит к росту продуктивности и снижению издержек при условии устранения технологических барьеров [1].

Основные препятствия внедрения систем:

- Инфраструктурные: необходимость связи и электроснабжения на удалённых участках;
- Финансовые: высокая стоимость сенсорного оборудования;
- Кадровые: недостаток специалистов по цифровому животноводству [5];

- Методологические: адаптация моделей рационов и алгоритмов под региональные условия;
- Экономические: необходимость доказательства экономической эффективности внедрения.

Для успешного внедрения интегрированных систем управления пастбищами и рационом животных рекомендуется реализовать следующий комплекс мероприятий:

- Запуск пилотных проектов на базе хозяйств Омской области.

Пилотные инициативы позволят протестировать цифровые решения в реальных производственных условиях, выявить их эффективность и определить наиболее результативные подходы к управлению пастбищами. В рамках пилотных проектов возможно проведение сравнительного анализа традиционных и автоматизированных методов, а также оценка экономического эффекта от внедрения технологий точного земледелия и кормопроизводства.

- Создание региональной базы данных пастбищ.

Необходима систематизация информации о составе травостоя, уровне продуктивности угодий, сезонной динамике и уровне антропогенной нагрузки. Такая база данных станет основой для принятия управленческих решений, прогнозирования состояния пастбищных экосистем и рационального планирования использования кормовых ресурсов. Важно обеспечить совместимость этой базы с федеральными и отраслевыми информационными системами.

- Обучение специалистов по сенсорике и аналитике.

Ключевым фактором успешного внедрения цифровых систем является наличие квалифицированных кадров, владеющих навыками работы с сенсорными устройствами, дронами, геоинформационными системами и аналитическими платформами. Проведение курсов повышения квалификации и программ профессиональной переподготовки позволит сформировать компетенции в области цифрового мониторинга и обработки данных.

- Адаптация алгоритмов под климатические особенности Западной Сибири.

Алгоритмы прогнозирования и оптимизации кормовой базы должны учитывать специфические природно-климатические условия региона – короткий вегетационный период, континентальный климат, неравномерное распределение осадков и особенности почвенного покрова. Это позволит повысить точность прогнозов и надежность рекомендаций по управлению пастбищами.

- Участие научных учреждений, таких как Омский ГАУ, в разработке стандартов цифрового мониторинга.

Привлечение научных и образовательных организаций обеспечит научно-методическое сопровождение процесса цифровизации, разработку унифицированных подходов к сбору и интерпретации данных, а также формирование стандартов качества цифрового мониторинга. Это создаст основу для масштабирования разработанных решений на другие регионы России.

Интеграция сенсорных технологий и Big Data открывает новые возможности для повышения эффективности пастбищного животноводства. Использование дистанционного зондирования, IoT-датчиков и аналитических платформ обеспечивает точное и адаптивное управление кормовой базой. При этом требуется развитие инфраструктуры, кадрового потенциала и методической базы. Взаимодействие хозяйств и научных учреждений, особенно с Омским ГАУ, может стать основой цифровой трансформации аграрного сектора региона.

### *Библиографический список*

1. Косенчук, О.В. Цифровые решения в животноводстве: анализ тенденций и использование в молочном скотоводстве Омской области / О.В. Косенчук, Н.А. Юрк, Ю.А. Динер // Продовольственная политика и безопасность. – 2022. – № 3. – С. 14-15.

2. Разработка инновационных методических подходов по применению современных цифровых технологий дистанционного мониторинга и зондирования в пастбищном животноводстве // Отраслевая сеть инноваций в АПК. – URL: <https://apknet.ru/pastbishchnom-zhivotnovodstve/>

3. Патент № 2490875 С2 Российская Федерация, МПК А01К 3/00. Способ и устройство автоматизации и информатизации экономичной пастбы животных на пастбищах с электрическими изгородями : № 2011143938/13 : заявл. 31.10.2011 : опубл. 27.08.2013 / А. В. Дубровин, В. В. Шевцов, В. В. Шевцов ; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ).

4. Якушев, В.П. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы / В.П. Якушев, В.В. Якушев, Д.А. Матвеев // Агрофизика. – 2017. – № 1. – С. 51–65.

5. Блохина, С.Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии / С.Ю. Блохина // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 5. – С. 14-18.

6. Черкашина, Л.В. Развитие информационных, цифровых и интернет-технологий в российском аграрном секторе / Л.В. Черкашина, М.В. Евсенина // Мировой опыт и экономика регионов России. - Курск. - 2020. - С. 382-386.

7. Мониторинг показателей белкового и минерально-витаминного обмена, коагуляционного гемостаза крупного рогатого скота для повышения эффективности зооветеринарных мероприятий в условиях крупных агрохолдингов : Монография / О. А. Федосова, В. В. Кулаков, О. А. Карелина, Г. В. Уливанова. – Рязань : РГАТУ, 2023. – 148 с.

8. Применение технологии блокчейн в управлении проектами / Л. В. Черкашина, Л. А. Морозова, Л. В. Романова, Е. А. Чернышева // Инновационный вектор развития отечественного АПК : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием,

посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 152-157.

9. К вопросу беспроводной передачи информации в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инновационные научно-технологические решения для АПК, Рязань, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 151-157.

10. Чистяков, Г. В. Анализ отрасли свиноводства в рамках реализации государственных программ развития / Г. В. Чистяков, Д. И. Жилияков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 5. – С. 73-77.

**УДК 636.018**

*Юрченко К.А., магистрант,  
Научный руководитель: Юрченко Е.Н., к. с.-х. наук, доцент  
ФГБОУ ВО Омский ГАУ, г. Омск, РФ*

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу внедрения цифровых технологий для контроля качества продукции агропромышленного комплекса (АПК). Рассматриваются современные инструменты цифровизации, такие как цифровые двойники, системы машинного зрения, искусственный интеллект, автоматизированные системы управления качеством, а также Интернет вещей (IoT). Особое внимание уделяется практическим кейсам из Омской области, где цифровые решения способствуют повышению продуктивности и конкурентоспособности предприятий. Обсуждаются преимущества, ограничения и перспективы развития цифровых технологий в агросекторе.

Ключевые слова: цифровизация, контроль качества, агропромышленный комплекс, цифровые двойники, машинное зрение, искусственный интеллект, Интернет вещей, Омская область.

Контроль качества продукции АПК является важнейшей составляющей устойчивого развития сельского хозяйства, влияющей на безопасность питания и экономическую эффективность. Современные вызовы, такие как рост населения, климатические изменения и необходимость повышения производительности, стимулируют внедрение цифровых технологий, позволяющих повысить точность, оперативность и полноту контроля на всех этапах производства. В статье рассматриваются новейшие достижения цифровизации в агросекторе, их преимущества и конкретные примеры внедрения в Омской области.

Цифровые двойники представляют собой виртуальные модели физических процессов или объектов, обеспечивающие непрерывный

мониторинг и прогнозирование состояния продукции и оборудования. В агропроизводстве они используются для моделирования роста растений, состояния животных и технологических процессов переработки. Это позволяет заранее выявлять отклонения и оптимизировать управление ресурсами [3].

Например, в Омской области цифровые двойники позволяют отслеживать состояние молочного поголовья в реальном времени, что сокращает время реакции на проблемы и улучшает качество продукции [1].

Машинное зрение применяется для автоматического контроля внешних признаков продукции: цвета, формы, целостности, а также выявления загрязнений и дефектов. Искусственный интеллект обрабатывает большие объемы данных, выявляет закономерности и прогнозирует качество продукции, учитывая множество факторов, таких как условия выращивания, кормление и технология переработки.

Системы машинного зрения и ИИ в Омской области внедряются в молочной и мясной промышленности, что позволяет снижать уровень брака и обеспечивать соответствие продукции нормативам [2].

IoT-технологии обеспечивают сбор и передачу данных с датчиков, установленных на оборудовании и в производственных помещениях. Это позволяет контролировать параметры окружающей среды, технологические процессы и характеристики продукции в режиме реального времени.

Автоматизированные системы управления качеством интегрируют эти данные и обеспечивают принятие решений на основе анализа в реальном времени. Такие системы сокращают количество ошибок, минимизируют человеческий фактор и оптимизируют производственные процессы.

В Омской области ряд агропредприятий уже успешно реализуют цифровые решения:

- ООО «Ястро-Лакт» внедрило цифровую платформу для управления стадом и автоматического контроля параметров молока. Это позволило снизить количество заболеваний животных и повысить качество молочной продукции [1].

- АО ПКЗ «Омский» применяет системы цифрового мониторинга для оптимизации кормления и контроля технологических параметров производства. Переход к полной цифровизации находится в стадии активной разработки.

В таблице 1 показан сравнительный анализ традиционных и цифровых методов контроля качества в АПК.

Внедрение цифровых технологий в АПК несет значительные преимущества:

- Повышение точности и оперативности контроля качества;
- Снижение затрат за счет автоматизации;
- Повышение прозрачности и управляемости процессов;
- Улучшение безопасности продукции.

Однако существуют вызовы:

- Высокая стоимость внедрения и обслуживания;
- Необходимость обучения персонала;

- Интеграция с существующими системами;
- Вопросы кибербезопасности.

Таблица 1 – Сравнительный анализ традиционных и цифровых методов контроля качества в АПК

Параметр	Традиционный метод	Цифровой метод	Преимущества цифрового метода
Скорость контроля	Медленная	Оперативная, в режиме реального времени	Быстрая реакция на отклонения
Точность измерений	Средняя	Высокая	Минимизация человеческой ошибки
Обработка больших объемов данных	Ограничена	Возможна	Анализ комплексных взаимосвязей
Прогнозирование качества	Отсутствует	Доступно	Предупреждение проблем на ранних стадиях
Автоматизация процесса	Низкая	Высокая	Снижение затрат и повышение прозрачности

В перспективе цифровизация АПК будет сопровождаться внедрением:

- Более совершенных моделей цифровых двойников с возможностью самообучения;
- Комплексных систем ИИ для прогнозирования качества продукции;
- Расширенного применения IoT и технологий больших данных;
- Блокчейн-технологий для обеспечения прослеживаемости и прозрачности цепочки поставок.

В будущем цифровизация агропромышленного комплекса подразумевает интеграцию усовершенствованных цифровых двойников, которые смогут самостоятельно обучаться и эволюционировать, опираясь на актуальные данные, тем самым формируя детализированные виртуальные модели процессов и техники для улучшения операционной эффективности. Параллельно будут эволюционировать всесторонние платформы искусственного интеллекта, специализирующиеся на точных прогнозах качества аграрной продукции, что поможет заранее оценивать урожаи, обнаруживать недостатки и оперативно корректировать методы культивации.

Широкое использование устройств Интернета вещей в сочетании с аналитикой больших данных позволит осуществлять постоянный мониторинг и обработку сведений с сенсоров, участков и сельхозмашин, что повысит производительность и сократит расходы. В свою очередь, блокчейн-технологии станут ключевым инструментом для обеспечения полной прослеживаемости и прозрачности цепочки поставок, от поля до потребителя, укрепляя доверие и безопасность продуктов питания.

В таблице 2 показаны перспективные цифровые технологии и их возможное влияние на АПК.

Таблица 2 – Перспективные цифровые технологии

Технология	Применение	Ожидаемый эффект
Искусственный интеллект (ИИ)	Анализ данных и прогнозы	Улучшение качества и снижение потерь
Интернет вещей (IoT)	Мониторинг в реальном времени	Повышение оперативности и контроля
Блокчейн	Прослеживаемость продукции	Повышение доверия потребителей
Цифровые двойники	Моделирование процессов	Оптимизация производства
Машинное зрение	Визуальный контроль	Снижение брака и повышение точности

Внедрение цифровых технологий в агропромышленном комплексе представляет собой ключевой фактор повышения качества продукции, эффективности производства и конкурентоспособности предприятий. Применение цифровых двойников, ИИ, машинного зрения и IoT позволяет значительно улучшить контроль качества, обеспечить прозрачность процессов и снизить затраты. Омская область демонстрирует успешные примеры использования цифровых решений в молочном скотоводстве, что может служить моделью для других регионов. Несмотря на существующие вызовы, перспективы развития цифровизации в АПК являются крайне позитивными.

### *Библиографический список*

1. Косенчук, О.В. Цифровые решения в животноводстве: анализ тенденций и использование в молочном скотоводстве Омской области / О.В. Косенчук, Н.А. Юрк // Продовольственная политика и безопасность. – 2022. – № 3. С. 18-20.
2. Автоматизация производственного контроля на базе цифровой платформы «Гарантир качества» / В.В. Авсиевич и др. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2024. – №6 (122). – С. 23-26.
3. Методика комплексной оценки эффективности применения цифровых технологий в молочном животноводстве / О. В. Косенчук [и др.] // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина». – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 4-6.
4. Евсенина, М.В. Инновационные процессы и цифровизация в сельскохозяйственном производстве: направления государственной поддержки / М.В. Евсенина, И.Н. Горячкина // Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы. - Курск. - 2020. - С. 141-145.
5. Мониторинг показателей белкового и минерально-витаминного обмена, коагуляционного гемостаза крупного рогатого скота для повышения эффективности зооветеринарных мероприятий в условиях крупных агрохолдингов : монография / О. А. Федосова, В. В. Кулаков, О. А. Карелина, Г. В. Уливанова. – Рязань : РГАТУ, 2023. – 148 с

6. Механизация и цифровизация производственных процессов в сельском хозяйстве / А.С. Баземирова [и др.] // Теоретические и практические аспекты инновационных достижений молодых ученых в животноводстве, ветеринарной медицине и экологии: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Рязань, 08 ноября 2023 года. - Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 11-17.

7. Цифровые технологии в проектном менеджменте / Е. А. Чернышева, Л. В. Черкашина, Л. В. Романова, Л. А. Морозова // Современные технологии, материалы и техника : сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 20 декабря 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 533-536.

8. Современные технологии в сельском хозяйстве / О. В. Терентьев, В. В. Терентьев // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13–15 марта 2024 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 135-136.

9. К вопросу беспроводной передачи информации в сельском хозяйстве / Н. Б. Нагаев [и др.] // Инновационные научно-технологические решения для АПК, Рязань, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 151-157.

10. Кистанова, С.А. Повышение экономической эффективности производства посредством цифровизации АПК / С.А. Кистанова, И.В. Чивилева, А.Б. Мартынушкин // Тренды развития современного общества: управленческие, правовые, экономические и социальные аспекты: Сборник научных статей 14-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 184-188.

11. Марков, И. С. Анализ цифровизации процессов в АПК / И. С. Марков, В. А. Кончин // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 05 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 162-167.

12. Развитие цифровых технологий в пчеловодстве / Ю. В. Петряжникова, А. И. Хуторская, А. Д. Родина [и др.] // Актуальные проблемы и приоритетные направления развития современной ветеринарной медицины, животноводства и экологии : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязань, 11 апреля 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 250-258.

Всероссийская научно-практическая конференция,  
посвящённая 86-летию со дня рождения профессора  
Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007)

«Инженерные решения для АПК»  
14 ноября 2025 года

*Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л. 14,0 п.л. Тираж 500 экз. Заказ № 1690  
подписано в печать 26.02.2026*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П. А. Костычева»*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы  
и учебно-методических пособий*

*ФГБОУ ВО РГАТУ  
390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1*